



Pós-Graduação em Ciência da Computação

**Reinaldo Antônio da Silva**

**NFR4ES:** Um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados



Universidade Federal de Pernambuco  
posgraduacao@cin.ufpe.br  
<http://cin.ufpe.br/~posgraduacao>

Recife  
2019

Reinaldo Antônio da Silva

**NFR4ES:** Um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

**Área de Concentração:** Engenharia de Software

**Orientador:** Prof. Jaelson Freire Brelaz de Castro

**Coorientador:** Prof. João Henrique Correia Pimentel

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Monick Raquel Silvestre da S. Portes, CRB4-1217

S586n Silva, Reinaldo Antônio da  
NFR4ES: um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para  
Sistemas Embarcados/ Reinaldo Antônio da Silva – 2019.  
154 f.: il., fig., tab.

Orientador: Jaelson Freire Brelaz de Castro.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.  
CIn, Ciência da Computação, Recife, 2018.  
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia da computação. 2. Requisitos Não-Funcionais. 3.  
Sistemas Embarcados. I. Castro, Jaelson Freire Brelaz de (orientador).  
II. Título.

621.39

CDD (23. ed.)

UFPE- MEI 2019-094

**Reinaldo Antônio da Silva**

**“NFR4ES: Um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para  
Sistemas Embarcados”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Aprovado em: 15/03/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Carla Taciana Lima Lourenco Silva Schuenemann  
Centro de Informática/UFPE

---

Profa. Dra. Fernanda Maria Ribeiro de Alencar  
Departamento de Eletrônica e Sistemas/UFPE

---

Prof. Dr. Jaelson Freire Brelaz de Castro  
Centro de Informática/UFPE  
**(Orientador)**

*Dedico este trabalho aos meus pais, minha esposa, meu filho e, especialmente à minha avó (in memoriam) .*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida e me capacitar para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Jaelson Freire Brelaz de Castro, primeiramente por me aceitar como orientando, pelos ensinamentos neste período de mestrado e pela exigência de entrega e dedicação ao trabalho.

Ao meu co-orientador Professor João Henrique Correia Pimentel, pela co-orientação, pelos conhecimentos fornecidos, e pela dedicação e envolvimento com o trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) - Campus Barra do corda, por ter contribuído com o meu afastamento para que eu pudesse realizar este trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Engenharia de Requisitos (LER), pelo incentivo e pela troca de conhecimento ao longo do mestrado.

Aos colegas do laboratório de pesquisa pelo convívio diário e a troca de informações.

A todos que participaram da avaliação do trabalho, sem eles não teríamos avaliado a nossa abordagem e obtido resultados para esta pesquisa.

Aos amigos e familiares que me apoiaram e me incentivaram ao longo do mestrado.

Aos meu pais que lutaram para me oferecer a melhor educação possível e me apoiaram nesta caminhada que foi o mestrado.

A minha avó Carmina Ferreira de Carvalho (*in memoriam*) que sempre me apoiou e acreditou que eu conseguiria alcançar os meus objetivos.

Por fim, a minha esposa Amália chaves e meu filho Renan que foram o meu maior incentivo durante a realização deste trabalho.

## RESUMO

Sistemas embarcados se tornaram cada vez mais importantes no dia a dia das pessoas. Mesmo que sua presença não seja percebida, eles estão embutidos em diversos aparelhos eletrônicos que utilizamos no nosso cotidiano, tais como: *smartphones*, *smartwatches* e diversos outros. Eles estão presentes em aplicações de diversas áreas tais como: a médica, veicular, dentre outras. Nos últimos anos tem crescido o interesse recíproco entre as comunidades de Engenharia de Software e sistemas embarcados. Devido a complexidade no desenvolvimento desses sistemas, engenheiros de Sistemas Embarcados buscam na Engenharia de Requisitos métodos e técnicas que forneçam apoio a construção destes sistemas. Da mesma forma a comunidade de Engenharia de Software percebeu a necessidade de se adaptar a este domínio e propor novas abordagens que atendam as particularidades desta área. Em particular foi observado, após pesquisa na literatura, que há uma escassez de métodos, técnicas e ferramentas de Engenharia de Requisitos específicas para sistemas embarcados. No domínio de sistemas embarcados, 50% dos problemas são detectados apenas após a entrega do produto. Contudo, grande parte dos problemas relatados não são relacionados a erros de programação do sistema, mas dizem respeito à requisitos inadequados. No processo de desenvolvimento de um sistema embarcado, várias questões devem ser levadas em consideração no que diz respeito ao tratamento dos Requisitos Não-Funcionais. Vários trabalhos relatam a dificuldade com a Elicitação e Especificação de Requisitos Não-funcionais para Sistemas Embarcados. Desta forma, esta dissertação visa tratar a dificuldade para identificar, inter-relacionar e documentar Requisitos Não-Funcionais em projetos de Sistemas Embarcados. Neste trabalho foi desenvolvido um Catálogo de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados chamado NFR4ES. Com este catálogo o conhecimento foi organizado, facilitando o compartilhamento, gerenciamento, e evolução das informações sobre os requisitos não-funcionais em sistemas embarcados. Posteriormente o catálogo NFR4ES foi avaliado através de uma Prova de Conceito, onde esse artefato se mostrou útil e colaborou com o processo de elicitação e especificação do sistema proposto, e um questionário para obter a opinião de especialistas onde o catálogo foi bem avaliado sobre perspectivas relevantes da pesquisa. Como contribuições apresentamos um conjunto de Requisitos Não-Funcionais que podem ser levados em consideração em projetos de Sistemas Embarcados e estão organizados através de um catálogo. Também apresentamos os inter-relacionamentos entre os Requisitos Não-Funcionais obtidos, e um processo dividido em 3 fases e 8 atividades com o qual o catálogo foi construído. Portanto, com a utilização do catálogo NFR4ES, será possível apoiar as etapas de elicitação e especificação em projetos de sistemas embarcados.

**Palavras chave:** Engenharia de Requisitos. Especificação de Requisitos. Requisitos Não-Funcionais. Sistemas Embarcados. NFR Framework. Catálogos.

## ABSTRACT

Embedded systems have become increasingly important in people's day-to-day lives. Even if their presence is not perceived, they are embedded in several electronic devices that we use in our daily lives, such as *smartphones*, *smartwatches* and several others. They are present in applications of several areas such as the medical, vehicular, among others. In recent years mutual interest has grown among Software Engineering communities and embedded systems. Due to the complexity in the development of these systems, Embedded Systems Engineers seek in Requirements Engineering methods and techniques that support the construction of these systems. In the same way, the Software Engineering community realized the need to adapt to this domain and to propose new approaches that meet the particularities of this area. In particular, it was observed, after research in the literature, that there is a shortage of methods, techniques, and tools of Specific Requirements Engineering for embedded systems. In the embedded systems domain, 50% of problems are detected only after product delivery. However, most of the reported issues are not related to system programming errors but relate to inadequate requirements. In the process of developing an embedded system, several issues need to be taken into account when dealing with Non-Functional Requirements. Several papers report the difficulty with the Elicitation and Specification of Non-functional Requirements for Embedded Systems. Thus, this dissertation aims to address the challenge to identify, interrelate and document Non-Functional Requirements in Embedded Systems projects. In this work, a Catalog of Non-Functional Requirements for Embedded Systems called NFR4ES was developed. With this catalog, the knowledge was organized, facilitating the sharing, management, and evolution of the information about the nonfunctional requirements in embedded systems. Subsequently, the NFR4ES catalog was evaluated through a Proof of Concept, where this artifact proved useful and cooperated with the elicitation process and specification of the proposed system, and a questionnaire to obtain the opinion of experts where the catalog was well evaluated on important perspectives the research. As contributions we present a set of Non-Functional Requirements that can be taken into account in Embedded Systems projects and are organized through a catalog. We also show the interrelations between the Non-Functional Requirements obtained, and a process divided into 3 phases and 8 activities with which the catalog was constructed. Therefore, with the use of the NFR4ES catalog, it will be possible to support the elicitation and specification stages in embedded systems projects.

**Keywords:** Requirements Engineering. Requirements Specification. Non-Functional Requirements. Embedded Systems. NFR Framework. Catalogs.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2 – Procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa . . . . .	17
Tabela 3 – Características da Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados e Sistemas de Propósito Geral . . . . .	25
Tabela 4 – Termos utilizados na pesquisa . . . . .	26
Tabela 5 – Listagem dos Requisitos Não-Funcionais Excluídos . . . . .	42
Tabela 6 – Listagem dos Requisitos Não-Funcionais Obtidos . . . . .	43
Tabela 7 – Listagem dos Requisitos Não-Funcionais que Surgiram das Fontes Ex- ternas . . . . .	46
Tabela 8 – Listagem das Correlações do SIG . . . . .	54
Tabela 9 – Principais termos e definições em segurança do tipo <i>safety</i> . . . . .	73
Tabela 10 – Comparação dos trabalhos relacionados sobre aspectos observados . . .	126

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABA</b>	Applied Behavior Analysis
<b>AGC</b>	<i>Apollo Guidance Computer</i>
<b>BPMN</b>	<i>Business Process Modeling Notation</i>
<b>CIn</b>	Centro de Informática
<b>DM1</b>	<i>Diabetes Mellitus tipo 1</i>
<b>ER</b>	Engenharia de Requisitos
<b>GERSE</b>	Guia de Elicitação de Requisitos para Sistemas Embarcados
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamento Global
<b>ICT</b>	Instituto de Ciência e Tecnologia
<b>IOT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>MAIA</b>	Módulo de Aquisição de Imagens para Análise
<b>MIT</b>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<b>OMG</b>	<i>Object Management Group</i>
<b>PECS</b>	Picture Exchange Communication System
<b>PoC</b>	Proof of Concept
<b>PRReSE</b>	Processo de Reuso de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados usando <i>NFR Framework</i>
<b>RNF</b>	Requisito Não-Funcional
<b>RNFs</b>	Requisitos Não-Funcionais
<b>RSL</b>	Revisão Sistemática da Literatura
<b>SE</b>	Sistema Embarcado
<b>SIG</b>	<i>Softgoal Interdependency Graph</i>
<b>SoC</b>	<i>System-on-a-Chip</i>
<b>TEA</b>	O Transtorno do Espectro Autista
<b>TEACCH</b>	Treatment and Education of Autistic and related Communication handicapped Children
<b>TERASE</b>	<i>Template</i> para Especificação de Requisitos de Ambiente em Sistemas Embarcados
<b>UFPE</b>	Universidade Federal de Pernambuco

**UML**

Unified Modeling Language

**UNIFESP**

Universidade Federal de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	CONTEXTO	14
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.3	OBJETIVOS	16
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Questões de pesquisa</b>	<b>16</b>
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
2.1	SISTEMAS EMBARCADOS	21
<b>2.1.1</b>	<b>Definição</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Estrutura de um Sistema Embarcado</b>	<b>22</b>
2.1.2.1	Princípio de Funcionamento	23
<b>2.1.3</b>	<b>Domínio de sistemas embarcados</b>	<b>23</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Características</b>	<b>24</b>
2.2	ENGENHARIA DE REQUISITOS PARA SISTEMAS EMBARCADOS	24
<b>2.2.1</b>	<b>A Revisão Sistemática da Literatura (RSL)</b>	<b>26</b>
2.2.1.1	Planejamento e Execução	26
2.3	REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS	27
<b>2.3.1</b>	<b>Definição</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Características</b>	<b>28</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Classificação</b>	<b>29</b>
2.4	NFR FRAMEWORK	30
<b>2.4.1</b>	<b>Visão geral</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2</b>	<b>SIG - Softgoal Interdependency Graph</b>	<b>30</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Tipos de <i>Softgoals</i></b>	<b>31</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Interdependências</b>	<b>32</b>
2.4.4.1	Refinamentos	32
2.4.4.2	Contribuições	33
<b>2.4.5</b>	<b>Procedimento de avaliação</b>	<b>38</b>
2.5	CONCLUSÃO	39
<b>3</b>	<b>NFR4ES - CATÁLOGO DE REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS PARA SISTEMAS EMBARCADOS</b>	<b>40</b>
3.1	PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CATÁLOGO	40

<b>3.1.1</b>	<b>Levantamento Inicial</b> . . . . .	<b>40</b>
3.1.1.1	Identificar os RNFs . . . . .	41
3.1.1.2	Coletar definições e atributos dos RNFs . . . . .	43
<b>3.1.2</b>	<b>Desenvolvimento</b> . . . . .	<b>44</b>
3.1.2.1	Desenvolvimento da Taxonomia . . . . .	44
3.1.2.2	Criação do Catálogo . . . . .	45
3.1.2.3	Complementar o catálogo com outras fontes . . . . .	45
3.1.2.4	Submeter o Catálogo piloto a análise de especialistas . . . . .	48
<b>3.1.3</b>	<b>Avaliação</b> . . . . .	<b>48</b>
3.1.3.1	Aplicação da Prova de Conceito . . . . .	48
3.1.3.2	Avaliação do catálogo através de um questionário aplicado a especialistas . . . . .	48
3.2	EXEMPLOS PARA A ILUSTRAÇÃO DO CATÁLOGO . . . . .	48
3.3	O CATÁLOGO . . . . .	50
<b>3.3.1</b>	<b>Confiabilidade</b> . . . . .	<b>55</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Consumo de Energia</b> . . . . .	<b>56</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Custo</b> . . . . .	<b>57</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Desempenho</b> . . . . .	<b>58</b>
3.3.4.1	Tempo . . . . .	60
3.3.4.2	Consumo de Recursos . . . . .	63
<b>3.3.5</b>	<b>Estrutura física</b> . . . . .	<b>64</b>
<b>3.3.6</b>	<b>Manutenibilidade</b> . . . . .	<b>70</b>
<b>3.3.7</b>	<b>Portabilidade</b> . . . . .	<b>71</b>
<b>3.3.8</b>	<b>Segurança do Tipo <i>Safety</i></b> . . . . .	<b>72</b>
<b>3.3.9</b>	<b>Segurança do Tipo <i>Security</i></b> . . . . .	<b>75</b>
<b>3.3.10</b>	<b>Usabilidade</b> . . . . .	<b>81</b>
3.4	DIRETRIZES DE USO DO CATÁLOGO . . . . .	85
3.5	DISCUSSÃO . . . . .	86
3.6	SÍNTESE DO CAPÍTULO . . . . .	87
<b>4</b>	<b>AVALIAÇÃO DO CATÁLOGO NFR4ES</b> . . . . .	<b>89</b>
4.1	PROVA DE CONCEITO . . . . .	89
<b>4.1.1</b>	<b>Prova de Conceito 1: Sistema MAIA</b> . . . . .	<b>89</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Instanciação do catálogo NFR4ES - Prova de Conceito 1</b> . . . . .	<b>90</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Resultados e Discussão - Prova de Conceito 1</b> . . . . .	<b>100</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Prova de Conceito 2: Sistema Autecla</b> . . . . .	<b>101</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Instanciação do catálogo NFR4ES - Prova de Conceito 2</b> . . . . .	<b>103</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Resultados e Discussão - Prova de Conceito 2</b> . . . . .	<b>112</b>
4.2	AVALIAÇÃO COM ESPECIALISTAS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIO . . . . .	113
<b>4.2.1</b>	<b>Perfil do respondentes</b> . . . . .	<b>114</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Avaliação do catálogo NFR4Es</b> . . . . .	<b>116</b>

4.2.3	<b>Sugestões de Melhoria</b> . . . . .	121
4.3	LIMITAÇÕES . . . . .	123
4.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO . . . . .	123
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>124</b>
5.1	TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .	124
5.1.1	<b>Uma Análise sobre a Engenharia de Requisitos em Sistemas Embarcados</b> . . . . .	<b>124</b>
5.1.2	<b>GERSE: Guia para Elicitação de Requisitos de Sistemas Embarcados</b>	<b>124</b>
5.1.3	<b>TERASE: <i>Template</i> para Especificação de Requisitos de Ambiente em Sistemas Embarcados</b> . . . . .	<b>125</b>
5.1.4	<b>PRReSE – Processo de Reuso de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados usando NFR Framework</b> . . . . .	<b>125</b>
5.1.5	<b>Integração com Trabalhos Relacionados</b> . . . . .	<b>126</b>
5.1.6	<b>Comparativo entre os trabalhos</b> . . . . .	<b>126</b>
5.2	RESULTADOS . . . . .	127
5.3	LIMITAÇÕES . . . . .	128
5.4	TRABALHOS FUTUROS . . . . .	128
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	129
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>130</b>
	<b>APÊNDICE A – ESTUDOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA</b> . . . . .	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE B – ESTUDOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (TRATAM RNFS)</b> . . . . .	<b>142</b>
	<b>APÊNDICE C – FONTES EXTERNAS</b> . . . . .	<b>145</b>
	<b>APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO 1</b> . . . . .	<b>148</b>
	<b>APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO 2</b> . . . . .	<b>152</b>
	<b>APÊNDICE F – EVIDÊNCIA DAS RESPOSTAS</b> . . . . .	<b>154</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada uma visão geral da dissertação. As seguintes seções estão estruturadas da seguinte forma: o contexto, a caracterização do problema, a motivação, os objetivos, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.

## 1.1 CONTEXTO

Segundo Broy (1997), "Um Sistema Embarcado (SE) têm o propósito de regular um dispositivo físico enviando sinais de controle para atuadores em reação a sinais de entrada, fornecidos por interfaces ou por sensores".

Os Sistemas Embarcados se tornaram cada vez mais importantes no dia a dia das pessoas, mesmo que sua presença não seja percebida, como: *Smartphones*, *Smartwatches*, computadores de bordo automotivos, controles de temperatura de ar-condicionado e vários outros aparelhos que utilizamos em nosso cotidiano. Esses tipos de sistemas estão presentes em diversas áreas como: aviação, médica, veicular, dentre outras. Eles atuam nas mais variadas tarefas, desde a identificação de uma determinada localização através de um aplicativo de Sistema de Posicionamento Global (GPS) presente em um *Smartphone*, a informações como: autonomia de combustível, distância percorrida e consumo médio fornecidas por um computador de bordo em um veículo automotivo. Esses sistemas trazem, conforto, rapidez, segurança, comodidade dentre outros benefícios (OSSADA; MARTINS, 2010).

Ao longo dos últimos anos tem crescido o interesse recíproco entre as comunidades de Engenharia de *Software* e Sistemas Embarcados (LIGGESMEYER; TRAPP, 2009). Devido à complexidade no desenvolvimento destes sistemas, Engenheiros de SE buscam na Engenharia de Software técnicas, métodos e ferramentas que forneçam apoio para o processo de construção e para melhoria da qualidade do produto. Por sua vez, a comunidade de Engenharia de Software percebeu que é necessário adaptar para esse domínio os mecanismos já existentes, bem como propor novas abordagens que atendam as particularidades da área de Sistemas Embarcados (OSSADA; MARTINS, 2010). Após pesquisas na literatura sobre o domínio de Sistemas Embarcados e do contato com desenvolvedores dessa área, foi observada uma escassez de métodos, técnicas e ferramentas de engenharia de requisitos específicas para sistemas embarcados (OSSADA; MARTINS, 2010).

A Engenharia de Requisitos (ER) dispõe de abordagens, processos, técnicas, métodos, modelos e ferramentas para ajudar na concepção de softwares e sistemas. Ela abrange as atividades de elicitación, análise, especificação, validação e gerenciamento dos requisitos (PRESSMAN; MAXIM, 2016).

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No desenvolvimento de sistemas de software, as etapas de elicitação e especificação de requisitos são essenciais para que o sistema atenda às necessidades dos *stakeholders*<sup>1</sup>. Dessa forma, a má elicitação e especificação, ou a falta de documentação são pontos negativos que podem acarretar no insucesso do sistema. De fato, muitas vezes em função da simplicidade aparente e a necessidade de rapidez no processo de desenvolvimento de um sistema embarcado, as etapas de elicitação e especificação são negligenciadas (SOUSA et al., 2015).

De acordo com Broy (1997), "No domínio de sistemas embarcados, 50% dos problemas são detectados apenas após a entrega do produto". Os problemas relatados não são relacionados a erros de programação do sistema, mas dizem respeito a requisitos inapropriados. Dessa forma, é necessário realizar a captura correta dos requisitos.

Segundo Sommerville (2011), "Os requisitos de um sistema são as descrições dos serviços a serem oferecidos pelo sistema e suas restrições operacionais". Esses requisitos são classificados em Requisitos Funcionais e Requisitos Não-Funcionais. Os Requisitos Funcionais declaram os serviços que o sistema deve oferecer, enquanto os Requisitos Não-Funcionais determinam as restrições sobre as quais as funções ou serviços fornecidos pelo sistema devem operar.

No processo de desenvolvimento de um sistema embarcado várias questões devem ser levadas em consideração no que diz respeito ao tratamento de Requisitos Não-Funcionais, como: baixo consumo de potência sem comprometimento do desempenho do sistema, questões relacionadas a memória, peso, segurança, tempo-real, alta confiabilidade, disponibilidade, entre outros fatores (OSSADA; MARTINS, 2010). Na literatura alguns trabalhos relatam a dificuldade com a elicitação e especificação de requisitos não funcionais para sistemas embarcados. O estudo realizado por (SOUSA, 2015) relatou o tratamento aos Requisitos Não-Funcionais como um dos principais problemas em aberto, visto que embora sejam importantes no domínio Sistemas Embarcados, eles frequentemente não são tratados de forma adequada. No trabalho desenvolvido por (CAVALCANTE, 2017) são apresentadas questões sobre o tratamento de Requisitos Não Funcionais em Sistemas Embarcados, tais como: Quais são as linguagens para especificação de Requisitos Não-Funcionais em Sistemas Embarcados?, Quais os Requisitos Não-Funcionais mais frequentes em sistemas embarcados e seus respectivos domínios e Quais os problemas em aberto mais frequentes na especificação de Requisitos Não-Funcionais em Sistemas Embarcados.

Tratar requisitos não-funcionais não é uma tarefa fácil, porém seu tratamento é fundamental para a construção de sistemas embarcados, onde esses requisitos não são adequadamente cobertos pela maioria das técnicas de engenharia de requisitos (SOUSA, 2015).

Especificamente, o problema trabalhado nesta dissertação é a dificuldade para iden-

---

<sup>1</sup> São todas as partes que tem interesse ou serão afetadas pelo sistema.

tificar, inter-relacionar e documentar Requisitos Não-Funcionais em projetos de Sistemas Embarcados.

O conhecimento pode ser organizado, em catálogos a fim de facilitar o compartilhamento, gerenciamento e evolução das informações sobre os Requisitos Não-Funcionais (CYSNEIROS; YU; LEITE, 2003).

### 1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de um catálogo de Requisitos Não-Funcionais para o domínio de Sistemas Embarcados.

#### 1.3.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa, foram definidos os objetivos específicos a seguir:

- Realizar um levantamento do estado da arte sobre Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados.
- Obter opinião de especialistas sobre os Requisitos Não-Funcionais relevantes para o domínio de sistemas embarcados.
- Obter as definições e atributos dos Requisitos Não-Funcionais encontrados a partir do levantamento.
- Desenvolver um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados chamado NFR4ES (Non-Functional Requirements For Embedded Systems)
- Avaliar o catálogo, através de uma Prova de Conceito - Proof of Concept (PoC) e da aplicação de um questionário com especialistas do domínio.

#### 1.3.2 Questões de pesquisa

A partir da descrição do contexto e caracterização do problema sobre a elicitação e especificação de Sistemas Embarcados, surgiram algumas questões de pesquisa:

- Que Requisitos Não-Funcionais devem ser levados em consideração em projetos de Sistemas Embarcados?

Esta pergunta tem como objetivo a obtenção de um conjunto de Requisitos Não-Funcionais, os quais podem ser re-utilizados em projetos futuros de sistemas embarcados. O reuso destes requisitos pode auxiliar nas etapas de elicitação e especificação destes projetos.

- Quais são os inter-relacionamentos entre os Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados?

Esta pergunta visa obter as relações entre os Requisitos Não-Funcionais no domínio de Sistemas Embarcados. A finalidade é compreender como um Requisito Não-Funcional pode afetar um outro de forma positiva ou negativa desde as fases iniciais do projeto.

- Como desenvolver um catálogo de Requisitos Não-Funcionais no domínio de Sistemas Embarcados para apoiar a elicitação e especificação de requisitos?

Esta pergunta tem o objetivo de estabelecer um conjunto de atividades ou tarefas a serem seguidas para a construção do catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados.

#### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Marconi e Lakatos (2003), "Método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista".

Prodanov e Freitas (2013) tem a concepção que "Um método se caracteriza por um procedimento ou caminho para alcançar determinado fim e que o objetivo da ciência é a busca do conhecimento". Dessa forma, o método científico é um conjunto de procedimentos adotados com o propósito de atingir o conhecimento.

Na tabela 2 são apresentados os procedimentos utilizados para alcançar o objetivo geral desta pesquisa.

Tabela 2 – Procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa

<b>Natureza da Pesquisa</b>	Aplicada
<b>Objetivo de Pesquisa</b>	Exploratória
<b>Procedimentos Técnicos</b>	Pesquisa Bibliográfica
<b>Abordagem da Pesquisa</b>	Qualitativa e Quantitativa

Fonte:Próprio Autor

Os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa e apresentados na tabela 2 são descritos a seguir.

- **Natureza da Pesquisa:** esta pesquisa é considerada aplicada, pois tem o objetivo de gerar o conhecimento para aplicação prática dirigida a solução de problemas específicos (PRODANOV; FREITAS, 2013). Dessa forma, a pesquisa visa desenvolver uma abordagem real e aplica-lá no seu contexto alvo.
- **Objetivo da Pesquisa:** esta pesquisa é classificada como exploratória, onde se busca ampliar o conhecimento sobre um determinado fenômeno (ZANELLA, 2006).

---

Nesta pesquisa é realizada uma investigação sobre sistemas embarcados, Requisitos Não-Funcionais e suas classificações e Requisitos Não-Funcionais predominantes no domínio de embarcados.

- **Procedimentos Técnicos:** esta pesquisa é classificada como bibliográfica. A pesquisa bibliográfica é realizada através de conteúdo já publicado (livros, artigos científicos, revistas e etc) com o objetivo de fornecer ao pesquisador o material relevante sobre um determinado tema (PRODANOV; FREITAS, 2013). Esta dissertação utiliza uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como base para a realização da pesquisa, onde esta RSL foi atualizada com a participação do autor e em seguida foi aplicado um filtro para obtenção dos artigos que abordam Requisitos Não-Funcionais.
- **Abordagem da pesquisa:** esta pesquisa é classificada como qualitativa e quantitativa. Uma pesquisa qualitativa é embasada em conhecimentos teórico-empíricos que permitam atribuir cientificidade sem a utilização de instrumental estatístico para a análise dos dados (ZANELLA, 2006). A pesquisa quantitativa traduz em números as opiniões e informações sobre a pesquisa, podendo utilizar técnicas estatísticas para classificar e analisar os dados (ASSIS, 2009). Na pesquisa quantitativa os resultados podem ser quantificados (SILVEIRA; CORDOVA, 2009). Nesta pesquisa a análise dos dados foi realizada de forma qualitativa e quantitativa. A análise qualitativa foi realizada através das perguntas abertas que foram aplicadas para Prova de Conceito proposta, obtendo do participante a sua opinião sobre a utilidade do catálogo e em seguida apresentada uma análise baseada nesta opinião. A análise quantitativa apresentou números (quantidades e percentuais) para mensurar aspectos relevantes do catálogo NFR4ES. Os resultados foram obtidos através da aplicação de um questionário aos especialistas do domínio. Estes dados foram importantes para fundamentar a utilidade e relevância do catálogo.

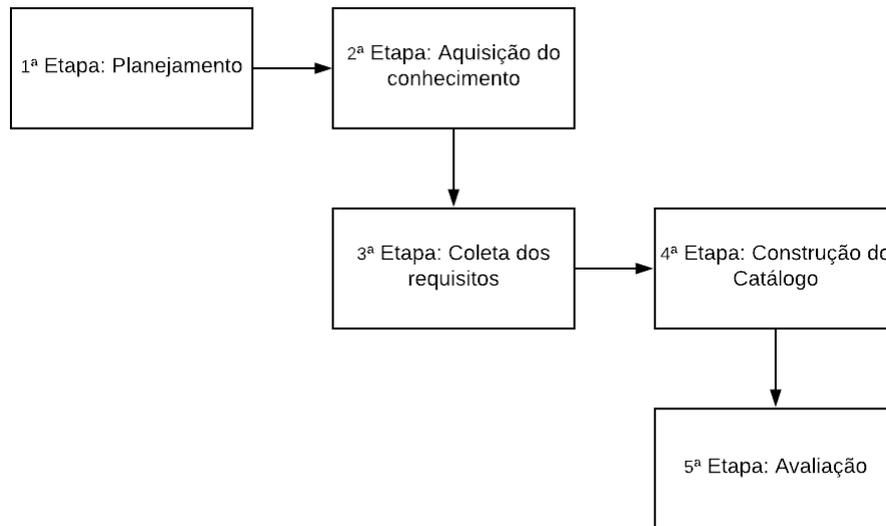
Para alcançar seus objetivos, esta pesquisa foi organizada em 5 etapas e ilustradas através da figura 1. Essas etapas são descritas a seguir.

**1ª etapa - planejamento:** nessa etapa foram realizadas algumas atividades como a definição do problema de pesquisa, os objetivos do trabalho, bem como os procedimentos metodológicos a serem adotados para a execução da pesquisa.

**2ª etapa - aquisição do conhecimento:** nessa etapa foi realizado um estudo sobre as áreas que abrangem o trabalho, que envolvem: Sistemas Embarcados, Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados, Requisitos Não-Funcionais e o *NFR Framework*.

**3ª etapa - coleta dos requisitos:** nessa etapa foi realizada a identificação dos Requisitos Não-Funcionais predominantes no domínio de Sistemas Embarcados. Para a obtenção dos requisitos, o autor colaborou em uma extensão de um Revisão Sistemática da Literatura sobre o estado da arte da Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados

Figura 1 – Etapas da pesquisa



Fonte: Próprio Autor

(PEREIRA et al., 2017). Nesta extensão da RSL o critério utilizado para a seleção dos artigos foi a seleção de todos os artigos que tratavam Requisitos Não-Funcionais no domínio de sistemas embarcados. Os resultados da extensão desta RSL foram o ponto de partida para a construção do catálogo.

**4ª etapa - construção do catálogo:** nessa etapa foi construída, inicialmente uma Taxonomia de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados com finalidade de entender os RNFs coletados e suas possíveis relações. Em seguida foi iniciada a construção do catálogo proposto com os RNFs identificados. Após o desenvolvimento inicial do catálogo, foram realizadas buscas específicas sobre esses requisitos utilizando outras fontes de pesquisa não oriundas da RSL, como: livros, artigos científicos não selecionados na revisão, normas técnicas, entrevistas com especialistas e etc.

**5ª etapa - avaliação:** nessa etapa foi realizada a avaliação da abordagem proposta com a aplicação do catálogo NFR4ES através de uma Prova de Conceito no contexto real de um sistema embarcado. Em seguida foi aplicado um questionário para obter a opinião de especialistas sobre o catálogo proposto. Após a realização desta avaliação, as opiniões foram analisados para a elaboração de uma nova versão do Catálogo de Requisitos Não-Funcionais.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este **Capítulo 1**, de introdução, apresentou o contexto, a caracterização do problema que deverá ser atacado, os objetivos do trabalho e os procedimentos metodológicos. O restante desta dissertação está estruturado da seguinte forma:

**Capítulo 2 - Fundamentação Teórica:** apresenta uma visão resumida das principais áreas envolvidas nesta pesquisa. Especificamente, são abordados: Sistemas Embarca-

dos, A Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados, Requisitos Não-Funcionais e o *NFR Framework*.

**Capítulo 3 – Catálogo de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados:** este capítulo descreve o processo de construção do catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados. Em seguida o catálogo é apresentado. Para ilustrar os requisitos do catálogo utilizamos alguns exemplos de sistemas embarcados no domínio de bombas de infusão e no domínio automotivo.

**Capítulo 4 – Avaliação:** Apresenta a metodologia utilizada para avaliar o catálogo proposto, detalhando os passos que foram seguidos e a apresentação dos resultados. A avaliação foi realizada através de uma Prova de Conceito e um questionário aplicado a especialistas.

**Capítulo 5 – Conclusão:** apresenta os trabalhos relacionados a dissertação, as contribuições, limitações, trabalhos futuros e considerações finais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica necessária para o entendimento do trabalho proposto. Serão abordados os seguintes temas: Sistemas Embarcados, Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados, Requisitos Não-Funcionais e o NFR Framework.

### 2.1 SISTEMAS EMBARCADOS

Nesta seção serão apresentados conceitos sobre Sistemas Embarcados, como: definições, características, um comparativo com sistemas de computação geral e algumas classificações encontradas na literatura acerca do tema.

#### 2.1.1 Definição

Sistemas Embarcados também são chamados de sistemas embutidos ou dedicados. Tais sistemas atuam com o objetivo de controlar um dispositivo físico ou um ambiente, havendo assim uma diferença em diversos aspectos para um sistema de propósito geral. Sistemas embarcados realizam um conjunto de tarefas pré-determinadas que não podem, após seu lançamento, serem facilmente alteradas (OSSADA; MARTINS, 2010).

O primeiro sistema embarcado moderno foi o *Apollo Guidance Computer* (AGC) desenvolvido no Laboratório de Instrumentação do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) para a expedição lunar (SHIBU, 2009). Este projeto foi desenvolvido por um grupo de projetistas liderados por *Charles Stack Draper* (JIMENEZ; PALOMERA; COUVERTIER, 2013). O AGC atuava como um computador de bordo nas espaçonaves do programa Apollo e foi desenvolvido na década de 60 (TOMAYKO, 1988).

Por volta de 1970 foram desenvolvidos processadores simples em um único chip para o uso em calculadoras. Dessa forma percebeu-se que esse chips poderiam ser reprogramados para outros propósitos, originando a partir daí o termo *computer-on-a-chip* (WOLF, 2012). Mais tarde começou a ser utilizado o termo *System-on-a-Chip* (SoC), ou seja um sistema completo (processadores, memórias, interfaces para periféricos e blocos dedicados) em um único chip (CARRO; WAGNER, 2003).

Devido a variedade de aplicações de Sistemas Embarcados é difícil se obter uma definição geral e um consenso sobre o conceito desse tipo de sistema (MARTINS et al., 2010). Na literatura encontramos algumas definições, descritas a seguir:

Segundo Broy (1997), "Sistemas Embarcados são sistemas que regulam um dispositivo físico enviando sinais de controles para atuadores em reação aos sinais de entradas providos pelos seus usuários ou sensores".

De acordo com Wolf (2012), "Um Sistema Embarcado é qualquer dispositivo constituído de *software* e *hardware* que possua um processador programável desenvolvido para um

propósito específico".

Braun et al. (2014), define Sistema Embarcado como "Um sistema técnico que opera em um ambiente físico, que controla seu ambiente utilizando variáveis que fazem referência a propriedades físicas ou técnicas do ambiente".

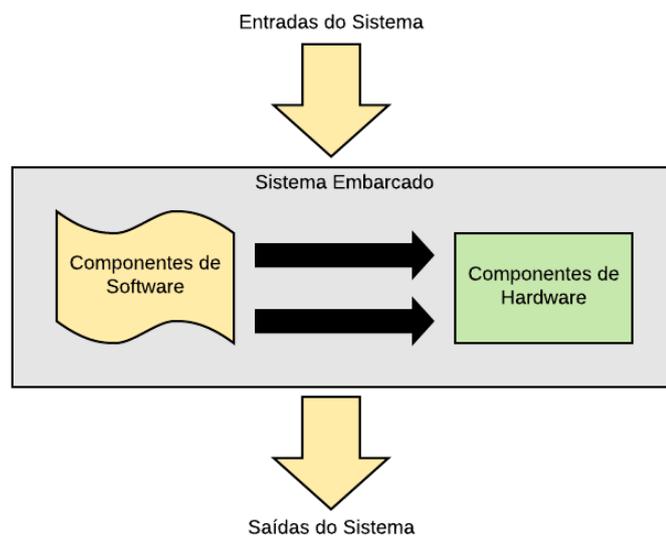
Shibu (2009) afirma que "Um Sistema Embarcado é um sistema eletrônico/eletromecânico projetado para executar uma função específica e é uma combinação de hardware e *firmware* (software)".

Como observarmos, existem diversas definições sobre o tema. No âmbito deste trabalho será adotada a definição proposta por Broy (1997). Esta definição foi escolhida devido ao destaque dado à interação do sistema com o seu ambiente, através de sensores e atuadores.

### 2.1.2 Estrutura de um Sistema Embarcado

De acordo com Jimenez, Palomera e Couvertier (2014), independente da função executada por um Sistema Embarcado, sua estrutura é dividida em dois conjuntos de componentes fortemente acoplados: um conjunto de componentes de hardware que inclui uma unidade central de processamento, normalmente na forma de um microcontrolador; e uma série de programas de software, normalmente incluídos como *firmware* que dão funcionalidade ao hardware. Esses dois conjuntos de componentes são ilustrados a seguir através da Figura 2.

Figura 2 – Visão geral de um sistema embarcado



Fonte: Jimenez, Palomera e Couvertier (2014)

Na Figura 2 é apresentada essa visão, onde são ilustrados os dois componentes principais (hardware e software) de um Sistema Embarcado e suas inter-relações. As entradas típicas em um sistema embarcado são variáveis e parâmetros do processo que chegam via sensores e portas de entrada/saída (E/S). As saídas estão na forma de ações de controle em atuadores do sistema ou informações processadas para usuários ou outros subsistemas

dentro do aplicativo. De acordo com o tipo da aplicação, pode ocorrer, em determinados casos, a troca de informações de entrada-saída com usuários através de algum tipo de interface de usuário, que pode incluir: teclas e botões, sensores, diodos emissores de luz (LEDs), telas de cristal líquido (LCDs) e outros tipos de dispositivos de exibição.

#### 2.1.2.1 Princípio de Funcionamento

O principal componente de hardware de um Sistema Embarcado é o componente eletrônico chamado de microcontrolador, que além da unidade central embarca diversos periféricos, como: Memória Volátil (RAM), memória não volátil (EEPROM), conversor analógico-digital (AD), conversor digital analógico (DA), relógio, calendários digitais, dentre outros componentes (OSSADA; MARTINS, 2010).

O microcontrolador interage com sensores do sistema, esses são responsáveis pelo monitoramento do ambiente ou do equipamento que está sendo controlado e realizam o envio de sinais elétricos para o microcontrolador. Tendo como base os sinais enviados pelos sensores, e nos parâmetros informados pelo usuário, o microcontrolador realiza o processamento que resulta no envio de sinais para atuadores e outros componentes (memórias, *displays*, consoles e etc..)(OSSADA; MARTINS, 2010).

#### 2.1.3 Domínio de sistemas embarcados

Sistemas Embarcados atuam em diversos domínios e fornecem serviços que são utilizados no nosso cotidiano. A seguir apresentamos alguns destes domínios (FRIEDRICH, ).

- **Automotivo:** incluem os sistemas de: direção eletrônica, sistemas de chassis, sistemas de informação e computação e controle de tráfego, etc.
- **Aviônica/Aeroespacial:** é o tipo de sistema que programa e monitora a decolagem e aterrissagem de aviões, realiza o vôo, controla sua trajetória e mantém fora de perigo. Esse domínio inclui aeronaves comerciais, aeronaves militares e sistemas de satélite.
- **Automação Industrial:** inclui controladores de fabricação e de processos industriais, controladores de movimento, robótica industrial, distribuição de energia, etc.
- **Telecomunicações:** incluem equipamentos de rede. Tais como: *switches*, roteadores e outros.
- **Consumo de Eletrônicos e Casas Inteligentes:** jogos eletrônicos, dispositivos de acesso a internet, eletrodomésticos, etc.
- **Equipamentos Médicos e de Saúde:** incluem equipamentos de monitoramento de pacientes, diagnóstico, imagem e sistemas cirúrgicos.

#### 2.1.4 Características

No contexto de Sistemas Embarcados existem características específicas que predominam independente do tipo de aplicação e tecnologia utilizada. Essas características são apresentadas a seguir (MARTINS et al., 2010) :

- Sistemas Embarcados se caracterizam por sistemas que acompanham determinado produto manufaturado (geralmente um dispositivo eletromecânico) para desenvolver uma tarefa específica (controlada por software).
- Software desenvolvido para um hardware específico e geralmente com um alto acoplamento.
- Possuem alta interação com sensores e atuadores, processando informações capturadas pelos sensores e realizando o envio de sinais para atuadores.
- Tendência de uma maior interação com sensores e atuadores do que com seres humanos.
- O microcontrolador/processador é o componente principal do sistema, ele irá executar o software embarcado.
- Possuem Requisitos Não-Funcionais fundamentais tais como: baixo consumo de energia, confiabilidade e alto desempenho.
- Geralmente são produzidos em grande escala, onde são embarcados em bens de consumo como: celulares, computadores de bordo automotivo, etc.

## 2.2 ENGENHARIA DE REQUISITOS PARA SISTEMAS EMBARCADOS

Devido ao aumento da complexidade do software embarcado, engenheiros de Sistemas Embarcados tem buscado na Engenharia de Software o arcabouço necessário para auxiliá-los na melhoria da qualidade do software. Dessa forma, a comunidade de Engenharia de Software está percebendo que é pertinente adaptar o ferramental que já existe e sugerir novas abordagens que possam atender às particularidades existentes em Sistemas Embarcados. Uma percepção que surge de pesquisas da literatura e a partir do contato com profissionais desta área é que há uma escassez de técnicas, métodos e ferramentas de Engenharia de Requisitos desenvolvidas especificamente para Sistemas Embarcados (OSSADA et al., 2012).

Projetos de Sistemas Embarcados são normalmente conduzidos por engenheiros da área de hardware, com expertise em eletrônica, elétrica e mecânica. No modelo vigente de desenvolvimento desses sistemas, geralmente Engenheiros de Software não participam das decisões do projeto de hardware do sistema, o que faz com que o software não cumpra

as expectativas, o que poderia ser evitado caso houvesse o envolvimento das equipes de software no projeto (OSSADA et al., 2012).

Geralmente engenheiros de Sistemas Embarcados iniciam o desenvolvimento de um determinado sistema antes da captura dos seus requisitos (BARBIERO, 2006). Isso ocorre, devido não existir entre os profissionais de Sistemas Embarcados, uma cultura bem estabelecida quanto ao tratamento dos requisitos do sistema (OSSADA; MARTINS, 2010).

Diversas abordagens de Engenharia de Requisitos como a Engenharia de Software tradicional e a Unified Modeling Language (UML) não atendem às particularidades de sistemas embarcados pois estes envolvem aspectos bem específicos como: economia de energia, aspectos físicos e outros (OSSADA; MARTINS, 2010). Isso se deve à questão de Sistemas embarcados serem diferentes de sistemas de propósito geral, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Características da Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados e Sistemas de Propósito Geral

<b>Características</b>	<b>Embarcados</b>	<b>Propósito geral</b>
Participação de stakeholders com perfil técnico(engenheiros)	Muito freqüente	Pouco freqüente
Requisitos de tempo-real	Comum, tendo grande impacto no produto	Incomum
Utilização de hardware padronizado	Incomum. Normalmente o hardware é projetado especificamente para o produto em desenvolvimento	É comum a utilização de plataformas padronizadas
Restrições quanto ao tamanho do software executável	Presente na maioria dos projetos de Sistemas Embarcados	Normalmente não há
Tempo de Comercialização	Janela de tempo curta	Janela de tempo longa
Dimensões físicas do sistema (volume,peso, ergonomia)	Requisito Não-Funcional muito importante a ser considerado	Não se aplica
Consumo de energia	Requisito Não-Funcional muito importante a ser considerado	Não se aplica
Confiabilidade	Requisito Não-Funcional fundamental para a maioria dos casos, e mandatário em alguns casos	Necessário, mas com impacto menor no projeto global do sistema
Definição de requisitos de hardware	Forte impacto no projeto global	Baixo impacto no projeto global
Atores que interagem com o sistema	Dispositivos físicos como sensores e atuadores, e eventualmente atores humanos	Normalmente atores humanos

Fonte:(OSSADA; MARTINS, 2010)

A seção a seguir apresenta a Revisão Sistemática da literatura utilizada no desenvolvimento desta pesquisa.

### 2.2.1 A Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

Uma RSL é uma forma de identificar, avaliar e interpretar toda as pesquisas disponíveis e importantes para uma determinada questão de pesquisa, um tópico de uma determinada área, ou um fenômeno de interesse (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

O autor desta dissertação colaborou com a atualização de uma RSL sobre Engenharia de Requisitos e Sistemas e Embarcados, descrita resumidamente nesta seção. Maiores detalhes do trabalho inicial estão disponíveis em (PEREIRA et al., 2017).

#### 2.2.1.1 Planejamento e Execução

Para a realização da atualização da RSL foram realizadas buscas automáticas em sete bases de dados eletrônicas, que foram escolhidas por possuírem artigos de periódicos e conferências de alta qualidade.

A pesquisa foi realizada nas bases de dados por título, palavras chave e resumo. O *string* de busca foi desenvolvida considerando os principais termos da nossa investigação ("Engenharia de Requisitos" e "Sistemas Embarcados"). Foram realizadas buscas piloto para melhorar o *string* de busca de forma iterativa. Em seguida, após algumas iterações chegou-se o *string* utilizada na pesquisa, conforme apresentada na Tabela 4 .

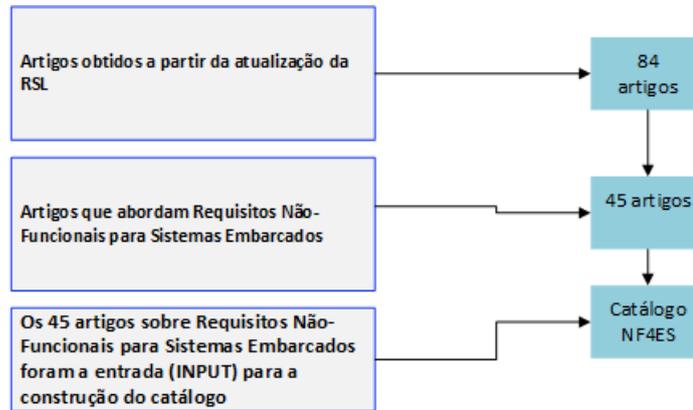
Tabela 4 – Termos utilizados na pesquisa

String de Busca
("requirements engineering"OR "requirements elicitation"OR "requirements specification"OR "requirements management"OR "requirements validation"OR "requirements verification"OR "requirements education"OR ("requirements modeling"OR "requirements modelling")) AND ("embedded systems"OR "safety critical systems"OR "real time systems"OR "embedded software"OR "embedded product") AND ("approach"OR "technique"OR "framework"OR "processes"OR "methods"OR "tool")

Fonte: (PEREIRA et al., 2017)

Conduzida inicialmente em 2016, esta revisão foi atualizada em 2018, com a colaboração deste autor. A Figura 3 apresenta a atualização desta RSL que serviu como entrada para a construção do catálogo.

Figura 3 – Atualização da RSL e entrada(INPUT) para o catálogo NFR4ES



Fonte: Baseada em (PEREIRA et al., 2017)

## 2.3 REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS

Requisitos Não-Funcionais (RNFs) são fundamentais para o sucesso de um projeto de software. Caso eles não sejam elicitados de forma adequada, podem ocorrer diversos problemas que resultam em má qualidade do software, insatisfação dos stakeholders e gastos com a correção no projeto de software (CHUNG et al., 2000).

Mairiza, Zowghi e Nurmuliani (2010) afirmam que, em determinados tipos de sistemas, tais como: sistemas embarcados, sistemas críticos de segurança(*safety*), os Requisitos Não-Funcionais podem ser mais críticos do que os Requisitos Funcionais, sendo considerados um fator determinante para o sucesso ou falha de um sistema.

### 2.3.1 Definição

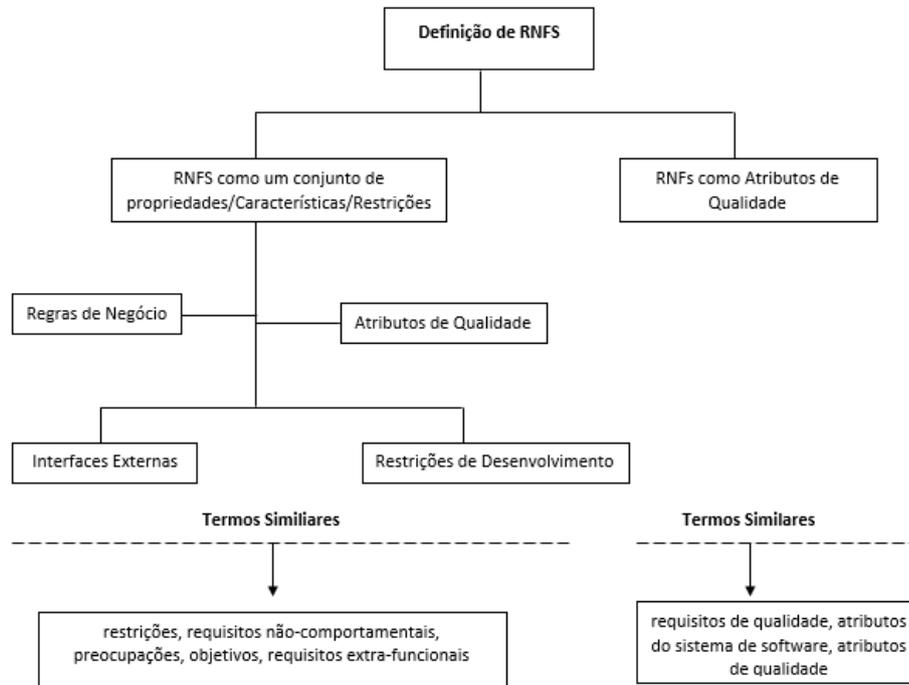
Segundo Mairiza, Zowghi e Nurmuliani (2010), "O termo Requisito Não-Funcional (RNF) já vem sendo utilizado por aproximadamente três décadas". Mesmo assim estudos apontam que não existe um consenso na comunidade de Engenharia de Software sobre a definição de Requisitos Não-funcionais.

Chung et al. (2000) afirmam que, "Existem diversas definições sobre Requisitos Não-Funcionais que podem ser encontradas na literatura". A definição de RNFs adotada nesta dissertação é fundamentada no trabalho desenvolvido por Mairiza, Zowghi e Nurmuliani (2010), onde foi realizada uma RSL com a finalidade de obter o estado da arte sobre alguns pontos relevantes sobre Requisitos Não-Funcionais, tais como: definição e terminologia, tipo, RNFs em vários tipos de sistemas e domínios de aplicação. Dessa forma RNFs são definidos em duas perspectivas que são apresentadas a seguir.

1. **RNFs** descrevem propriedades, características ou restrições que o sistema deve atender
2. **RNFs** descrevem atributos de qualidade que o produto deve possuir

A figura 4 ilustra a sub-divisão do conceito de RNF na perspectiva de uma propriedade, característica ou restrição sobre o sistema, ou na perspectiva de RNF como um atributo de qualidade.

Figura 4 – Definições e Terminologias de RNFs



Fonte: Baseado em(MAIRIZA; ZOWGHI; NURMULIANI, 2010)

### 2.3.2 Características

Chung et al. (2000) afirmam que algumas pesquisas mostram que o tratamento indevido dos Requisitos Não-Funcionais no desenvolvimento de sistemas é um aspecto fortemente influenciado pelas características destes requisitos. Requisitos Não-Funcionais podem ser: subjetivos, relativos e interativos.

Requisitos Não-Funcionais podem ser subjetivos pois podem ser interpretados e avaliados de formas diferentes por diferentes pessoas. Eles também podem ser relativos, uma vez que sua interpretação e importância pode ser diferente e de acordo com cada tipo de sistema. Além disso, RNFs também podem ser interativos, pois a tentativa de se satisfazer um RNF pode ajudar ou prejudicar a alcançar outros (CHUNG et al., 2000).

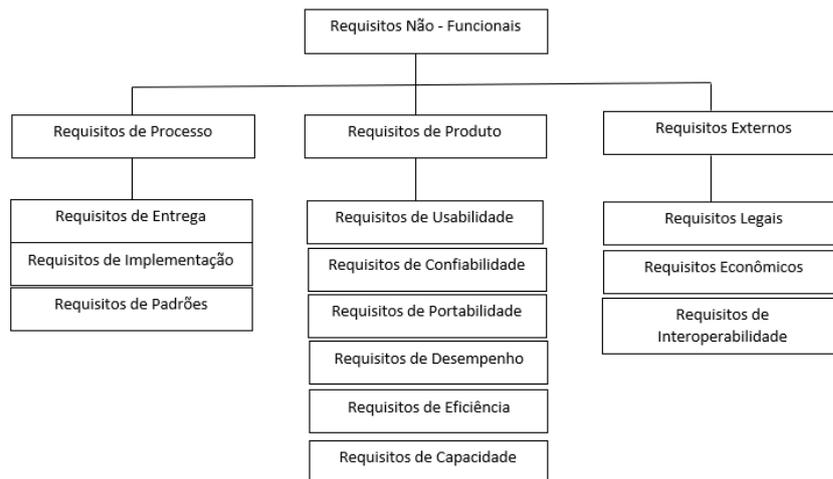
Outro aspecto a ser considerado é que a elicitacão, a especificacão e o gerenciamento de Requisitos Não-Funcionais são difíceis de se executar, pelo fato de desenvolvedores de software não terem o conhecimento necessário e também por existir pouca ajuda na literatura(LAUESEN, 2002).

Um outro aspecto importante consiste em que os Requisitos Não-Funcionais não são elicitados no mesmo tempo que Requisitos funcionais, nem no mesmo grau de detalhamento, sendo geralmente mal descritos no documento de requisitos (EBERT, 1998).

### 2.3.3 Classificação

Kotonya e Sommerville (1998) "Requisitos Não-Funcionais são classificados em três categorias: Requisitos de Produto, Requisitos de Processo e Requisitos externos". Estes Requisitos Não-Funcionais são ilustrados a seguir na Figura 5.

Figura 5 – Classificação de Requisitos Não Funcionais



Fonte: Baseado em (KOTONYA; SOMMERVILLE, 1998)

- **Requisitos de produto:** São os requisitos que especificam características desejadas que o sistema ou subsistemas devem possuir.
  - Exemplos: Segurança, confiabilidade, usabilidade entre outros.
- **Requisitos de processo:** São requisitos que definem restrições sobre o processo de desenvolvimento do sistema. Esses requisitos devem ser incluídos por que o cliente deseja influenciar nesse processo. Os requisitos de processo incluem padrões e métodos de desenvolvimento que devem ser seguidos, ferramentas CASE que devem ser utilizadas e relatórios de gerenciamento que devem ser apresentados.
  - Exemplo: Definição da linguagem de programação que será utilizada no projeto.
- **Requisitos externos:** São requisitos que podem influenciar ambos, o produto ou o processo, sendo derivados do ambiente em que o sistema é desenvolvido. Estes requisitos são baseados nas informações de domínio do sistema, no ambiente organizacional, na interoperabilidade (ou seja, na capacidade de operar junto a outros sistemas) regulamentos de segurança e proteção de dados e até em questões naturais que envolvem as leis da física.
  - Exemplo: Em um sistema médico que deve gerenciar os dados de uma determinada organização, o responsável pela proteção dos dados deve certificar que

todos os dados sejam mantidos de acordo com uma determinada legislação de proteção de dados antes que o sistema seja colocado em operação.

O Foco deste trabalho é o tratamento de Requisitos Não-Funcionais de Produto. Na seção a seguir será descrito o *NFR Framework*, onde sua notação será utilizada nesta dissertação para expressar os Requisitos Não-funcionais do catálogo NFR4ES.

## 2.4 NFR FRAMEWORK

Este *framework* é utilizado neste trabalho para representar os Requisitos Não-Funcionais presentes no Catálogo NFR4Es, onde estes Requisitos Não-Funcionais serão expressados através de um grafo SIG. O *NFR framework* criado por (CHUNG et al., 2000), foi adotado por propor uma abordagem específica para o tratamento de Requisitos Não-Funcionais e fornecer uma rica representação para expressar esses requisitos, além de suas relações e correlações.

### 2.4.1 Visão geral

O *NFR Framework* é uma abordagem para representar e analisar Requisitos Não-Funcionais. Seu objetivo é ajudar desenvolvedores na implementação de soluções personalizadas, levando em consideração as características do domínio e do sistema em questão. Tais características incluem Requisitos Não-funcionais, Requisitos funcionais, prioridades e carga de trabalho. Esses fatores determinam a escolha de alternativas de desenvolvimento para um determinado sistema (CHUNG et al., 2000).

O *Framework* utiliza o conceito de *softgoal*: um objetivo que não possui uma clara definição nem critérios de satisfação precisos. Os *softgoals* são utilizados para representar Requisitos Não-Funcionais e podem estar inter-relacionados, expressando a influência de um *softgoal* em outro. O *Framework* também possui um método de análise qualitativa para decidir os status dos *softgoals*, dado que outros *softgoals* relacionados foram ou não satisfeitos (CHUNG et al., 2000).

Para lidar com uma variedade de alternativas de desenvolvimento, os desenvolvedores podem consultar os catálogos de requisitos descritos na notação adotada pelo *NFR Framework*.

Os catálogos têm a finalidade de organizar o conhecimento sobre Requisitos Não-Funcionais específicos, interdependências e *trade-offs* (CHUNG et al., 2000).

Os *softgoals* e os seus inter-relacionamentos são representados em um grafo de interdependência de *softgoals* chamado SIG, descrito na seção a seguir.

### 2.4.2 SIG - Softgoal Interdependency Graph

O funcionamento do *NFR framework* pode ser visualizado em termos da construção, elaboração, análise e revisão incremental e interativa de um gráfico de interdependência

de *softgoal* conhecido como "*Softgoal Interdependency Graph* (SIG)". Este gráfico registra as considerações do desenvolvedor sobre os *softgoals* e mostra suas interdependências. Os SIGs armazenam um registro completo das decisões de desenvolvimento e da lógica do projeto de forma gráfica e concisa. O registro gráfico das decisões tomadas inclui Requisitos Não-funcionais e suas alternativas, decisões e justificativas associadas às decisões. Para verificar se os requisitos de nível superior são atendidos um procedimento de avaliação pode ser executado (CHUNG et al., 2000).

### 2.4.3 Tipos de *Softgoals*

Existem três tipos de *softgoals*: *Softgoals NFR*, *Softgoals* de Operacionalização e *Softgoals* de Afirmação. Estes são descritos a seguir:

- **Softgoals NFR:** representam os Requisitos Não- Funcionais e podem estar inter-relacionados, organizados em catálogos e apresentados de forma hierárquica no desenvolvimento do projeto (CHUNG et al., 2000).
- **Softgoals de Operacionalização:** representam soluções de implementação para satisfazer *softgoals NFR* ou outros *softgoals* de operacionalização. Essas soluções incluem operações, processos, representações de dados, estruturas e restrições no sistema alvo para atender às necessidades indicadas pelos *softgoals NFR* e de operacionalização (CHUNG et al., 2000).
- **Softgoals de Afirmação:** permitem que as características do domínio (como prioridades e carga de trabalho) sejam consideradas e devidamente refletidas no processo de tomada de decisão. Eles servem como justificativa para apoiar ou negar a forma como os *softgoals* são priorizados, refinados e os componentes são selecionados. Os *softgoals* de afirmação fornecem as razões para as decisões de desenvolvimento, facilitando a revisão, a justificativa e a mudança do sistema, bem como o aprimoramento da rastreabilidade (CHUNG et al., 2000).

Figura 6 – Tipos de *Softgoals*

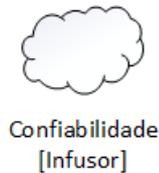


Fonte: (CHUNG et al., 2000)

A figura 6 ilustra as representações gráficas dos três tipos de *softgoals* utilizados pelo *NFR Framework*. Para representar os *softgoals NFR* são utilizadas nuvens claras, os *softgoals* de operacionalização são nuvens com linhas mais grossas, enquanto os *softgoals* de afirmação são representados através de nuvens com linhas tracejadas.

Um *softgoal* NFR possui um tipo e pode possuir um ou mais tópicos. O tipo representa um determinado NFR e o tópico expressa o assunto relacionado ao NFR. A Figura 7 apresenta a representação de um *softgoal* com tipo e tópico.

Figura 7 – Tipo e tópico de um *softgoal*



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

A Figura 7 ilustra um Requisito Não-funcional que tem como seu tipo "Confiabilidade" e como tópico "Infusor". Isto indica que, está se fazendo referência a confiabilidade de um componente específico, o "Infusor", e não a confiabilidade no contexto geral do sistema.

#### 2.4.4 Interdependências

As interdependências definem as relações entre os *softgoals*. Os tipos de interdependências utilizadas pelo *framework* são os refinamentos e as contribuições (CHUNG et al., 2000).

##### 2.4.4.1 Refinamentos

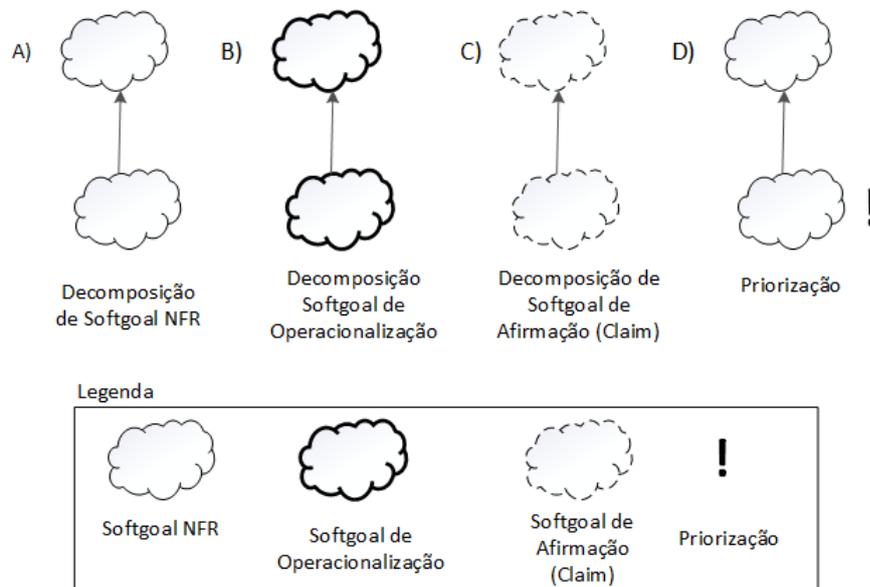
Os refinamentos definem um tipo de interdependência que ocorre de cima para baixo (*TOP-DOWN*), onde um *softgoal* ascendente (pai) produz um ou mais *softgoals* descendentes (filhos) e estes se relacionam com o ascendente. Os tipos de refinamento são: decomposição, operacionalização e afirmação.

As decomposições têm o objetivo de refinar *softgoals* para obter *softgoals* mais especializados e estes possam auxiliar na construção do projeto. Os quatro tipos de decomposições utilizadas pelo *NFR Framework* são descritos a seguir.

- **Decomposição de Softgoal NFR:** refina ou subdivide um *softgoal NFR* em outros específicos (apresentada na Figura 8-A). Isso pode ajudar a dividir grandes problemas em problemas menores e oferece um aspecto útil para lidar com ambiguidades e prioridades.
- **Decomposição de Operacionalização:** subdivide um *softgoal* de operacionalização em outros *softgoals* de operacionalização mais específicos (apresentada na Figura 8-B). Operacionalizações são úteis para definir uma solução geral e refiná-la em soluções mais específicas.

- **Decomposição de Afirmação (*Claims*):** refina um *softgoal* de afirmação em outros *softgoals* de afirmação (apresentada na Figura 8-C). Ela é importante para apoiar ou negar justificativas específicas de projeto.
- **Priorização:** A priorização é um tipo especial de decomposição, onde ocorre o refinamento de um softgoal em outro softgoal com o mesmo tipo e tópicos, mas com uma prioridade associada. (apresentada na Figura 8-D)

Figura 8 – Tipos de decomposições



Fonte: (CHUNG et al., 2000)

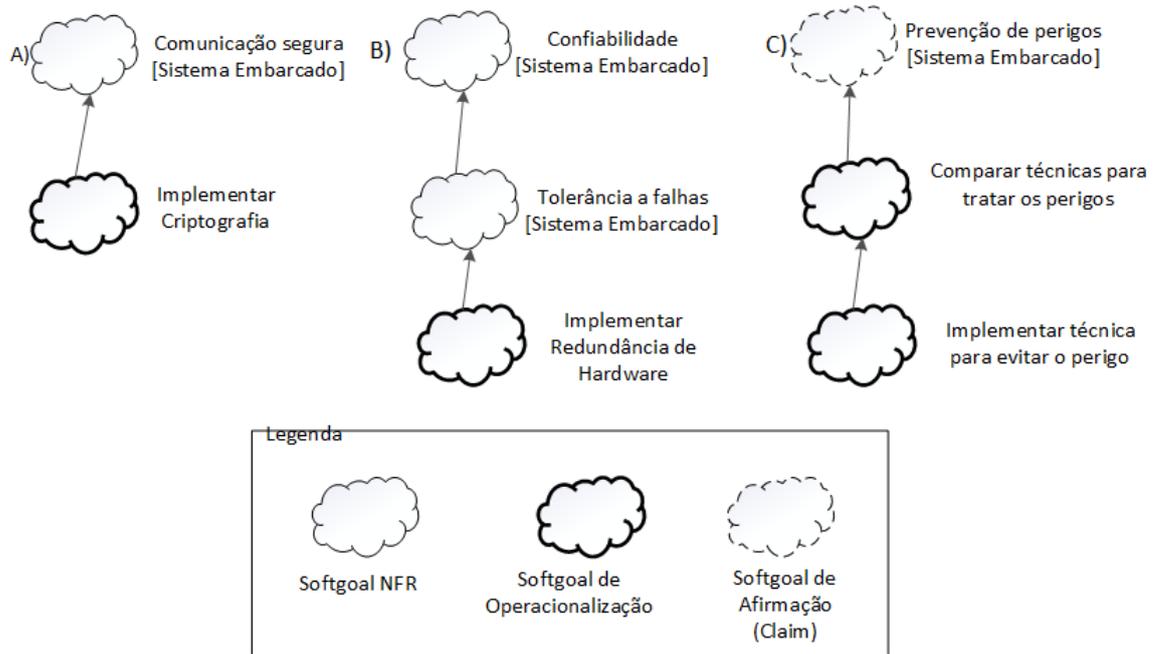
As operacionalizações definem técnicas de desenvolvimento para que os *softgoals NFR* sejam alcançados, refinando um *softgoal NFR* em um *softgoal* de operacionalização. A Figura 9 apresenta a ilustração de algumas possíveis formas de operacionalização de *softgoals*.

As afirmações refinam os *softgoals* de afirmação em outros *softgoals* de afirmação (*Claim*). Isso é útil para apoiar ou negar motivos específicos de projeto. A figura 10 apresenta a ilustração de possíveis formas de afirmação.

#### 2.4.4.2 Contribuições

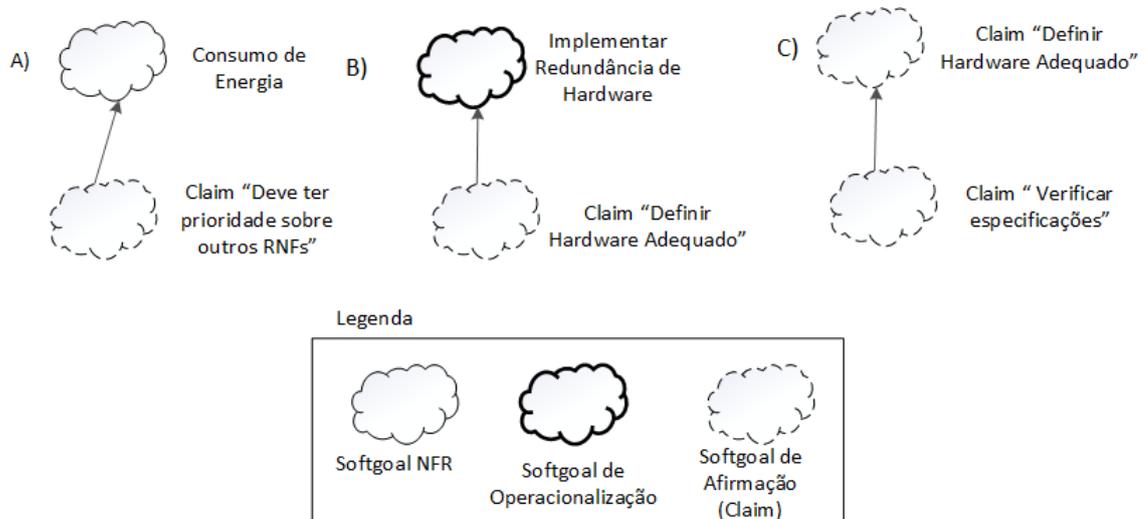
Ao longo do projeto os *softgoals* são refinados sucessivamente e nesses refinamentos, um *softgoal* descendente pode contribuir de forma total ou parcial, e de forma positiva ou negativa, para a satisfação do ascendente. É importante perceber que o termo "satisfação de *softgoal*" que tem o sentido de expressar que um *softgoal* deverá satisfazer requisitos não funcionais dentro de limites aceitáveis, em vez de absolutamente (CHUNG et al., 2000).

Figura 9 – Exemplos de possíveis operacionalizações no *NFR Framework*



Fonte: Próprio Autor

Figura 10 – Afirmações



Fonte: Próprio Autor

No *NFR framework* é possível a utilização de diversos tipos de contribuições que descrevem como a satisfação ou não de um *softgoal* descendente contribui para a satisfação do *softgoal* ascendente. A seguir apresentamos os tipos de contribuição utilizadas pelo framework (CHUNG et al., 2000):

- **AND:** determina que se os *softgoals* descendentes forem satisfeitos os *softgoals* ascendentes serão satisfeitos.
- **OR:** determina que, se algum *softgoal* descendente for satisfeito, o ascendente será satisfeito.

- **MAKE(++):** fornece uma contribuição suficientemente positiva (*MAKE*) entre um *softgoal* descendente e um *softgoal* ascendente que é concebida no nível mais alto de satisfação. Dessa forma, ao utilizarmos *MAKE*, se o *softgoal* descendente for satisfeito o *softgoal* pai também será satisfeito.
- **BREAK(- -):** fornece uma contribuição suficientemente negativa (*BREAK*) entre um *softgoal* descendente e um *softgoal* ascendente que é concebida no nível mais alto de negação. Portanto, ao utilizar *BREAK*, se o *softgoal* descendente for suficientemente satisfeito o *softgoal* pai será negado, ou seja não será satisfeito.
- **HELP(+):** fornece uma contribuição parcialmente positiva entre um *softgoal* descendente e um *softgoal* ascendente. Dessa forma ao utilizar *HELP*, se o *softgoal* descendente for parcialmente satisfeito o *softgoal* ascendente será parcialmente satisfeito.
- **HURT(-):** fornece uma contribuição parcialmente negativa entre um *softgoal* descendente e um *softgoal* ascendente. Dessa forma ao utilizar *HURT*, se o *softgoal* descendente for satisfeito o *softgoal* ascendente será parcialmente negado.
- **UNKNOWN(?):** fornece uma contribuição desconhecida entre um *softgoal* descendente e um *softgoal* ascendente, podendo ser tanto positiva quanto negativa.
- **EQUALS:** determina que o *softgoal* descendente só será satisfeito se o *softgoal* ascendente for satisfeito e que *softgoal* descendente será negado se o *softgoal* ascendente for negado.
- **SOME:** é utilizada quando o sinal da contribuição é conhecido (positivo ou negativo), mas a extensão (parcial ou total) não é. Nesses casos, quando há alguma incerteza em se utilizar *HELP* ou *MAKE* deve-se utilizar o tipo de contribuição *SOME +*. Da mesma forma quando não há certeza em se utilizar *HURT* ou *BREAK* deve-se utilizar *SOME -*.

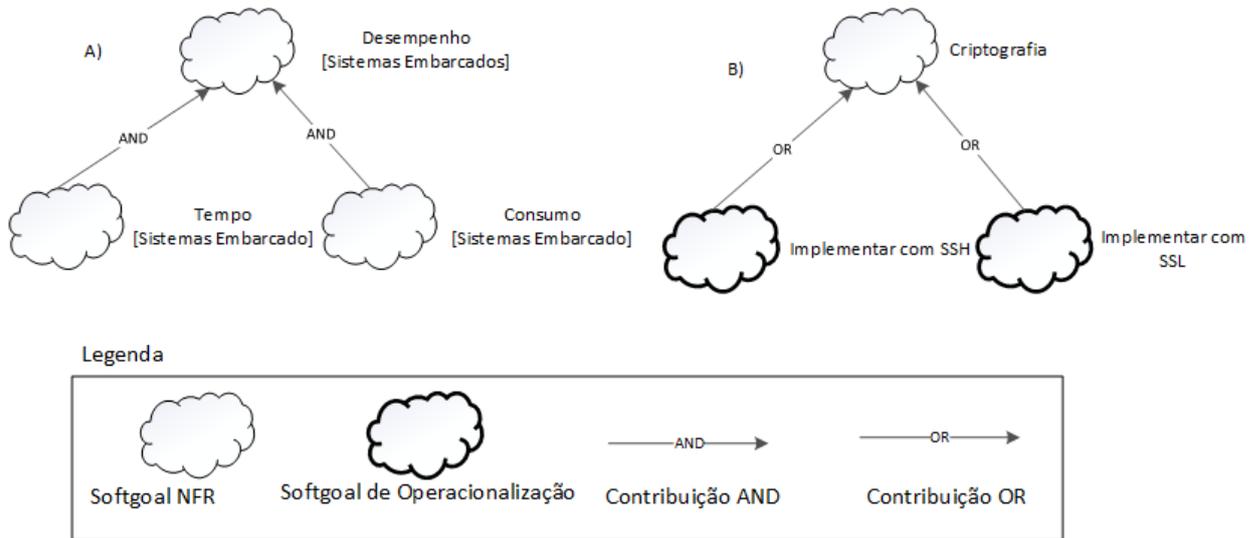
Para ilustrar as contribuições do *NFR Framework*, vamos apresentar alguns exemplos com base nos Requisitos Não-Funcionais de Sistemas Embarcados.

### Contribuições "AND" e "OR"

A Figura 11-A mostra um exemplo da contribuição "AND", onde temos os RNFs "Tempo" e "Consumo de Recursos", localizados na parte inferior da figura contribuindo com o RNF "Desempenho" localizado na parte superior. Isto expressa que, caso os requisitos localizados na parte inferior da hierarquia sejam satisfeitos, o requisito localizado no topo da hierarquia também será satisfeitos. A Figura 11-B apresenta um exemplo de utilização da contribuição "OR", onde os softgoals de operacionalização "Implementar com

SSH" e "Implementar com SSL", que estão associados ao RNF "Criptografia" na parte superior da figura. Isso indica que se alcançarmos pelo menos um dos softgoals de operacionalização no nível mais baixo da hierarquia, o softgoal no nível mais alto será alcançado.

Figura 11 – Exemplos de contribuições "AND" e "OR"

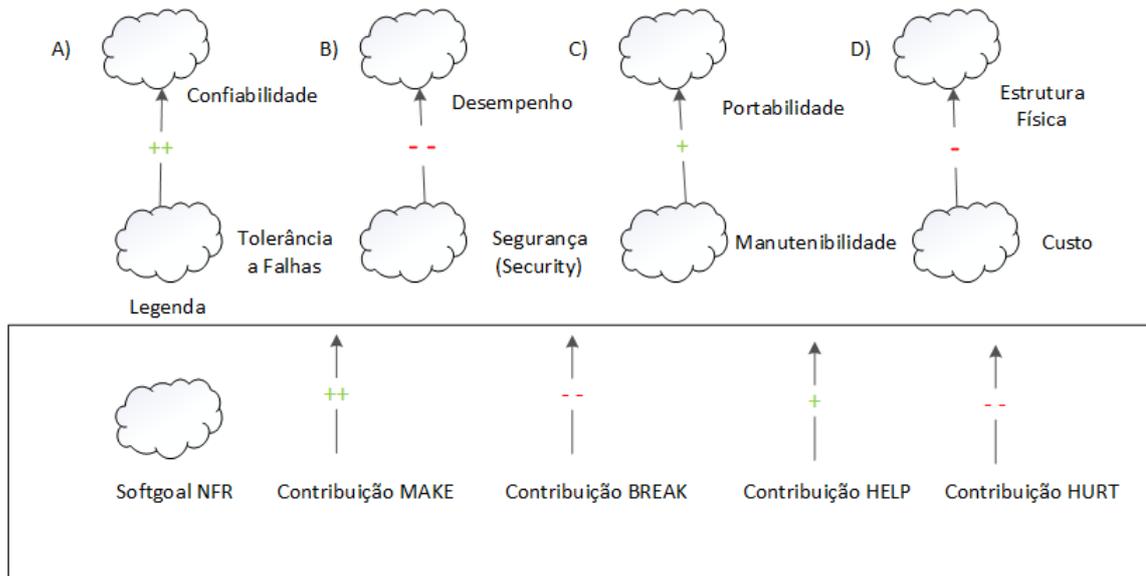


Fonte: Próprio Autor

### Contribuições "MAKE", "BREAK", "HELP" e "HURT"

Na Figura 12-A é apresentada uma contribuição "MAKE" do requisito Confiabilidade e Tolerância a Falhas. Isto indica que, os requisitos no nível mais baixo da hierarquia fornecem uma contribuição suficientemente positiva concebida no nível mais alto de satisfação, isto define, que se o softgoal descendente for satisfeito o ascendente será satisfeito. A figura 12-B apresenta uma contribuição *BREAK* do requisito "Segurança(*security*)" para o requisito "Desempenho". Isto expressa que a satisfação do requisito "Segurança" implica na negação do requisito "Desempenho" em um alto nível, indicando por exemplo que as soluções de segurança comprometem o desempenho do sistema. A figura 12-C, apresenta uma contribuição *HELP* do requisito "Manutenibilidade" para o requisito "Portabilidade". Isto indica que, o requisito no nível mais baixo da hierarquia fornece uma contribuição parcialmente positiva. Dessa forma, se o softgoal descendente "Manutenibilidade" for satisfeito o ascendente "Portabilidade" será parcialmente satisfeito. A figura 12-D, apresenta uma contribuição *HURT* do requisito "Custo" para o requisito "Estrutura Física". Isto indica que, o requisito "Custo" fornece uma contribuição parcialmente negativa para requisito "Estrutura Física", isto implica que se o *softgoal* "Custo" for satisfeito o requisito "Estrutura Física" será parcialmente negado, por exemplo o hardware que será utilizado no projeto de um sistema embarcado pode ser limitado em relação a seu custo.

Figura 12 – Exemplos de contribuições ” *MAKE*”, ” *BREAK* ”, ” *HELP*” e ” *HURT*”

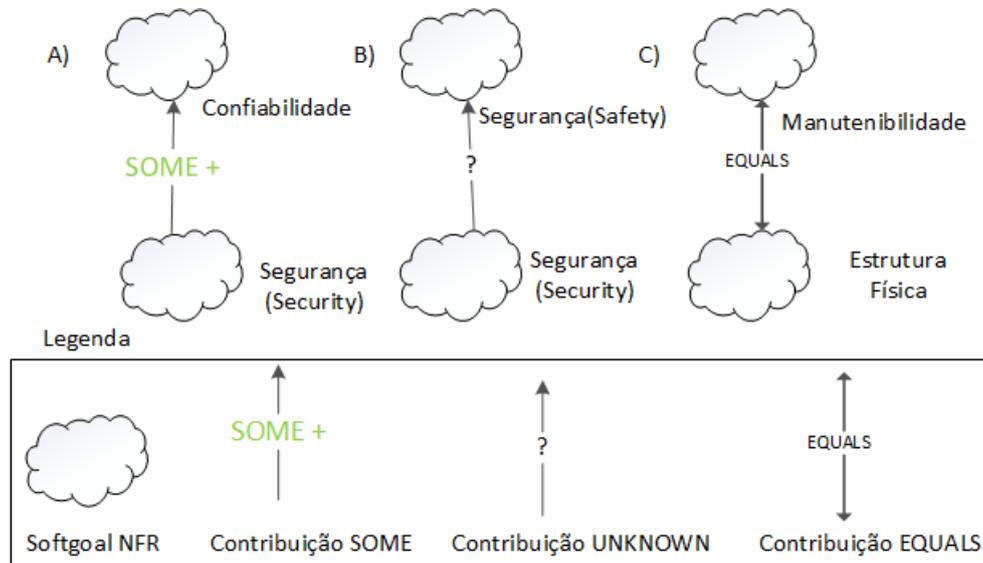


Fonte: Próprio Autor

### Contribuições ” *SOME*”, ” *UNKNOWN*” e ” *EQUALS*”

Na Figura 13-A, é apresentada uma contribuição *Some*, que pode ser positiva ou negativa, utilizamos a contribuição positiva *Some+* do requisito "Segurança(*security*)" para o requisito "Confabilidade". Esta contribuição é definida através de "Some +" e indica que o requisito "Segurança(*security*)" fornece alguma contribuição positiva seja ela parcial ou total para o requisito "Confabilidade". A figura 13-B, apresenta uma contribuição *UNKNOWN*(?), que define uma contribuição não identificada do requisito "Segurança(*Security*)" para o requisito "Segurança(*Safety*)". Isto implica que o *softgoal* "Segurança(*Security*)" fornece uma contribuição desconhecida que pode ser positiva ou negativa para o *softgoal* "Segurança(*Safety*)". A figura 13-C, apresenta uma contribuição *EQUALS* do requisito "Estrutura Física" para o requisito "Manutenibilidade". Isto implica que o *softgoal* "Estrutura Física" só será satisfeito se o *softgoal* "Manutenibilidade" for satisfeito e que o *softgoal* "Estrutura Física" será negado se o *softgoal* "Manutenibilidade" for negado.

Figura 13 – Exemplos de contribuições "SOME", *UNKNOWN* e *EQUALS*

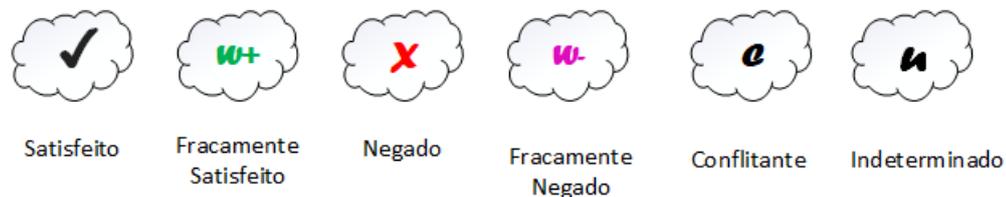


Fonte: Próprio Autor

#### 2.4.5 Procedimento de avaliação

O procedimento de avaliação determina o grau que os requisitos não funcionais são satisfeitos por um conjunto de decisões. Dessa forma, o procedimento de avaliação determina se cada softgoal ou interdependência do SIG foi suficientemente satisfeito. Para isso, são atribuídos rótulos para os softgoals. Os tipos de rótulos utilizados são: satisfeito, fracamente satisfeito, negado, fracamente negado, conflitante, indeterminado. Esses rótulos são ilustrados na figura 14.

Figura 14 – Tipos de rótulos utilizados pelos softgoals



Fonte: baseado em (CHUNG et al., 2000)

A análise dos softgoals de nível mais baixo na hierarquia em um SIG se refere a decisões sobre aceitar ou negar alternativas no projeto e essas decisões geram um conjunto inicial de rótulos onde o procedimento de avaliação utiliza esses rótulos para determinar o impacto das decisões nos softgoals que estão em um nível mais alto na hierarquia, isso é realizado até chegar aos softgoals no nível mais alto do SIG.

---

## 2.5 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram apresentados os quatro temas relacionados a este trabalho. A primeira seção abordou os "Sistemas Embarcados", apresentando as definições, características e as particularidades que norteiam estes sistemas.

Na seção 2.2 foi abordado o tema "Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados". Neste tópico relatamos a complexidade no desenvolvimento de Sistemas Embarcados, a busca de Engenheiros de Sistemas Embarcados por técnicas de Engenharia de Software para auxiliá-los na produção de software, bem como a necessidade da comunidade de Engenharia de Software de adaptar o ferramental existente para atender a particularidades desses sistemas. Além disso, apresentamos como foi realizada a atualização da Revisão Sistemática da Literatura utilizada nesta dissertação.

A seção 2.3 apresentou os "Requisitos Não-Funcionais". Reiteramos a sua importância e a necessidade de serem levados em consideração desde o início do projeto. Apresentamos a definição, características e uma classificação dos mesmos.

Por último, na seção 2.4 abordamos o NFR Framework. Apresentamos uma visão geral sobre este framework e descrevemos seus principais componentes, apresentamos o conceito de grafo SIG e os elementos que compõem este grafo como: softgoals e interdependências. Em seguida, foi descrito o procedimento de avaliação dos RNFs.

No capítulo seguinte será apresentado o Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados chamado NFR4ES, bem como, todo o seu processo de construção.

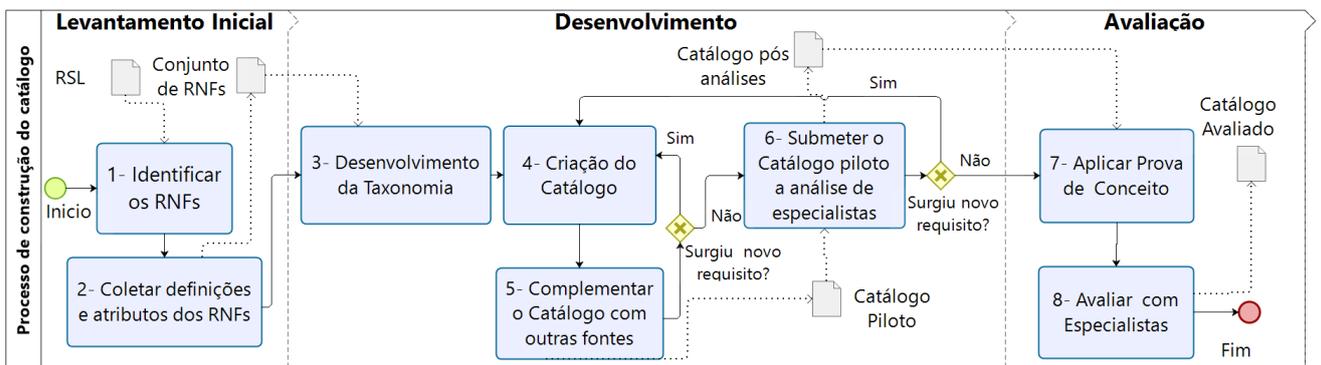
### 3 NFR4ES - CATÁLOGO DE REQUISITOS NÃO-FUNCIONAIS PARA SISTEMAS EMBARCADOS

Neste capítulo é apresentado o NFR4ES, que consiste em um Catálogo de Requisitos Não-funcionais para Sistemas Embarcados, assim como o processo para a construção do mesmo, os exemplos de sistemas embarcados utilizados, e o catálogo. Em seguida, é proposto um processo para o uso do catálogo. No final é realizada uma discussão sobre aspectos da abordagem proposta, além da síntese do capítulo.

#### 3.1 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CATÁLOGO

O processo de construção do catálogo foi dividido em 3 fases: Levantamento Inicial, Desenvolvimento e Avaliação. A figura 15 ilustra o processo de construção do catálogo utilizando a notação *Business Process Modeling Notation* (BPMN) desenvolvida pela *Object Management Group* (OMG), e apresenta as fases e atividades realizadas.

Figura 15 – Fases e tarefas do processo de construção do catálogo



Fonte: Próprio Autor

A figura 15 mostra as 3 fases que são refinadas em 8 tarefas para elaboração do catálogo. Na fase Levantamento Inicial, a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura, os requisitos foram coletados, bem como suas definições e seus atributos e/ou restrições. Na fase de Desenvolvimento foi construída a Taxonomia, o Catálogo de Requisitos Não-Funcionais e definido o cartão de especificação, contando com o *feedback* de especialistas. Na fase de Avaliação foi realizada uma Prova de Conceito e a aplicação de um questionário com especialistas da área. A seguir apresentamos de forma mais detalhada cada uma das fases e tarefas do processo.

#### 3.1.1 Levantamento Inicial

A obtenção dos Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados foi baseada na atualização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), descrita na seção 2.2.

O objetivo dessa RSL foi identificar o estado da arte sobre a aplicação da Engenharia de Requisitos no Domínio de Sistemas Embarcados. Dessa forma, a RSL foi atualizada com a participação do autor até marco de 2018, onde no total foram obtidos 84 artigos. Em seguida estes artigos foram lidos e a partir daí foram selecionados 45 artigos que abordavam Requisitos Não-Funcionais no domínio de Sistemas Embarcados. Através dos 45 artigos coletamos um conjunto inicial de Requisitos Não-Funcionais predominantes neste domínio, bem como conceitos e refinamentos desses requisitos.

### 3.1.1.1 Identificar os RNFs

Com base na leitura dos artigos dos 45 estudos listados APÊNDICE B e que tratam de Requisitos Não-Funcionais no domínio de sistemas embarcados, foi identificado um conjunto inicial com 52 de Requisitos Não-Funcionais, estes são apresentados a seguir: *activation lattency, area, availability, cost, deadline, distribution, drift, embedded, energy consumption, energy efficiency, freshness, hosts, communication, input/output, jitter, laxity, maintainability, memory constraints, memory size, memory, performance, period, portability, power consumption, power management, precision, privacy, real time, realise time, reliability, repetition rate, resolution, resource availability, resource consumption, resource usage, resource, response time, safety, security, speed, star and end, synchronization, task alocation, temporal, throughput, time out, time, timing, tolerant delay, total energy, utilisation rate e usability.*

A partir daí foi realizada uma triagem onde foram eliminados requisitos duplicados (com o mesmo sentido), requisitos que não apresentaram definições, e requisitos que não apresentaram evidências em outras fontes (artigos científicos que não foram capturados na RSL e livros). Dessa forma foram excluídos requisitos 31, que são listados a seguir: *activation lattency, deadline, distribution, drift, embedded, energy efficiency, freshness, hosts, communication, input/output, jitter, laxity, memory constraints, memory size, memory, period, power consumption, power management, precision, real time, realise time, resolution, resource usage, resource, speed, star and end, synchronization, task alocation, temporal, timing e total energy.*

A tabela 5 apresenta uma listagem com os Requisitos Não-Funcionais excluídos durante a atividade de Levantamento inicial. Nesta tabela, é a apresentado o Requisito Não funcional que foi excluído, a fonte de pesquisa deste requisito e a justificativa para sua exclusão. As fontes dos requisitos estão localizadas no APÊNDICE B.

Tabela 5 – Listagem dos Requisitos Não-Funcionais Excluídos

Requisito Não funcional	Fonte	Justificativa de exclusão
activation latency	S13	Requisito Duplicado (com o mesmo contexto de Delay)
deadline	S13	Não foi encontrada definição
distribution	S13	Não foi encontrada definição
drift	S13	Não foi encontrada definição
embedded	S13	Não foi encontrada definição
energy efficient	S43	Requisito Duplicado (com o mesmo contexto de Consumo de Energia)
freshness	S13	Não foi encontrada definição
hosts	S13	Não foi encontrada definição
communication	S13	Não foi encontrada definição
input/output	S63	Requisito Duplicado (com o mesmo contexto de Reponse Time)
jitter	S13	Requisito Duplicado (com o mesmo contexto de Delay)
laxity	S13	Não foi encontrada definição
memory constraints	S74	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a uma restrição de consumo de recurso do sistema embarcado)
memory size	S47	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a uma restrição de consumo de recurso do sistema embarcado)
memory	S13	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a uma restrição de consumo de recurso do sistema embarcado.)
period	S13	Não foi encontrada definição
power consumption	S13	Requisito Duplicado (com o mesmo contexto de Consumo de Energia)
power management	S17	Requisito Duplicado (com o mesmo contexto de Consumo de Energia)
precision	S13	Não foi encontrada definição
real time	S24	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a restrições de tempo).
realise time	S13	Não foi encontrada definição
resolution	S13	Não foi encontrada definição
resource usage	S17	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a restrições do uso de recursos).
resource	S24	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a restrições do uso de recursos).
speed	S17	Não foi encontrada definição
star and end	S13	Não foi encontrada definição
synchronization	S13	Não foi encontrada definição
task allocation	S13	Não foi encontrada definição
temporal	S02, S24, S52	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a restrições de tempo).
timing	S16, S31, S33	Requisito Duplicado (Requisito abordado no catálogo se referindo a restrições de tempo).
total energy	S13	Requisito Duplicado (com o mesmo contexto de Consumo de Energia)

Fonte:Próprio Autor

Como resultado final desta seleção obtemos 21 requisitos. Este foram: *area, availability, cost, energy consumption, maintainability, performance, portability,*

*privacy, reliability, repetition rate, resource availability, resource consumption, response time, safety, security, throughput, time out, time, tolerant delay, usability e utilisation rate.*

A Tabela 6 apresenta uma listagem com os Requisitos Não-Funcionais obtidos. Esta tabela apresenta cada requisito com sua descrição e fonte de origem. As fontes podem ser localizadas no APÊNDICE B.

Tabela 6 – Listagem dos Requisitos Não-Funcionais Obtidos

<b>Requisito Não funcional</b>	<b>Fonte</b>
area	S13
availability	S38, S70,S81
cost	S03,S13,S25
energy consumption	S07, S13, S38, S43, S47
maintainability	S16,S81
performance	S02, S03, S13, S17, S18, S24, S38, S43, S46,S47, S56, S65, S68, S75, S76.
portability	S16
privacy	S81
reliability	S16, S40, S56, S65, S68, S70, S81
repetition rate	S63
resource availability	S24
resource consumption	S24, S31, S39
response time	S24
safety	S03, S05, S06, S07, S08, S12, S14, S19, S25, S27, S33, S35, S40, S41, S43, S45, S46, S49, S50, S51, S56 , S61, S64, S70, S74, S76, S81, S82,
security	S16, S40, S48, S64, S70 e S81
throughput	S24
time out	S24
time	S01, S02, S13, S16, S20, S24, S31, S33, S34, S39, S46, S52, S56, S63, S75 e S84
tolerant delay	S63
usability	S16
utilisation rate	S24

Fonte:Próprio Autor

### 3.1.1.2 Coletar definições e atributos dos RNFs

Com os 45 artigos obtidos na tarefa 1, foram coletadas as definições e atributos dos RNFs. Desta forma foi construído um conjunto de Requisitos Não-funcionais, com definições e seus atributos e restrições. É importante ressaltar que ao realizar esta atividade não foi possível conseguirmos todas as definições, pois muitos artigos apenas citavam estes requisitos sem muito detalhamento. Desta forma, foi necessário a busca destas definições em outras fontes de informação tais como: artigos que não foram capturados pela Revisão Sistemática da Literatura e consultas em livros. Estas fontes externas são listadas no APÊNDICE C. A tarefa "Coletar definições e atributos dos RNFs"é ilustrada na tarefa 2 da figura 15.

### 3.1.2 Desenvolvimento

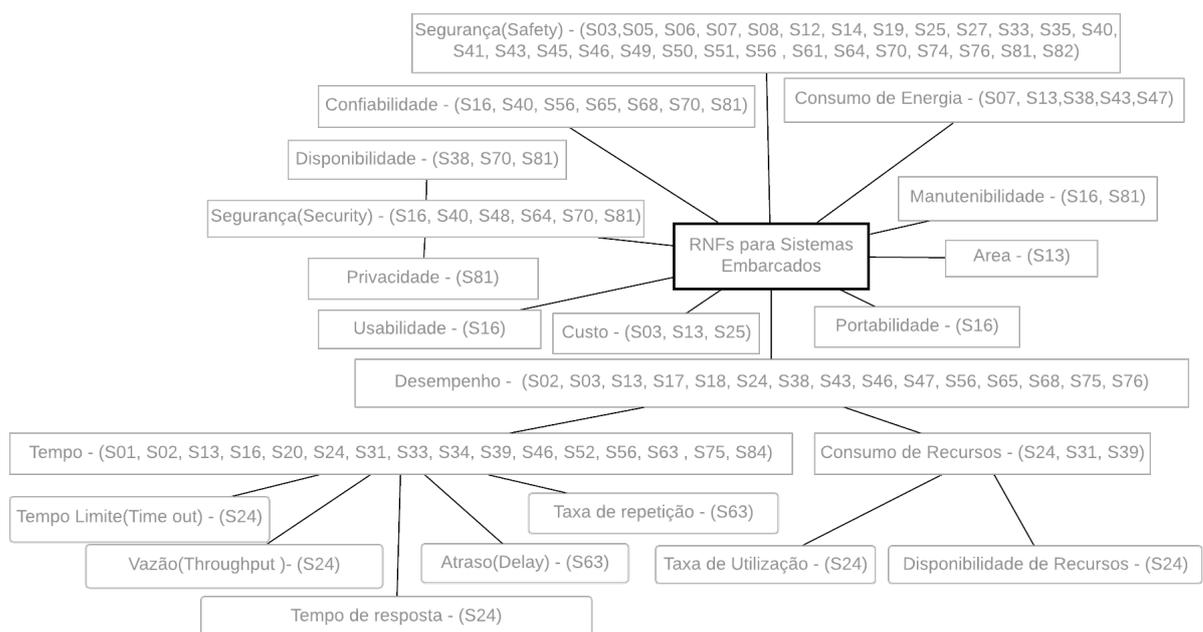
Nesta etapa realizamos a construção da Taxonomia de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados, e a construção do catálogo. Além disso, melhoramos e complementamos o nosso catálogo a partir de outras fontes de informação como: livros, artigos científicos que não foram identificados na RSL, especialistas do domínio dentre outras. No final desta etapa, uma versão piloto do catálogo foi gerada para ser submetida a uma análise preliminar por especialistas.

#### 3.1.2.1 Desenvolvimento da Taxonomia

Para organizar e entender os Requisitos-Não Funcionais para Sistemas Embarcados foi desenvolvida uma Taxonomia. Segundo Usman et al. (2017), "Taxonomia é um esquema de classificação, que permite a descrição de termos e suas relações no contexto de uma área de conhecimento". Taxonomias contribuem para amadurecer um campo de conhecimento, e podem evoluir ao longo do tempo incorporando novos conhecimentos (USMAN et al., 2017).

A figura 16 apresenta a Taxonomia criada inicialmente com os 21 requisitos não funcionais obtidos na tarefa 1. O Objetivo desta taxonomia é auxiliar na compreensão desses requisitos, classificá-los e entender suas relações. A classificação dos requisitos foi baseada nos artigos da RSL. A criação desta Taxonomia foi um passo intermediário para facilitar a criação do catálogo e serviu de base para a criação do Grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG), apresentado na seção 3.3.

Figura 16 – Taxonomia de Requisitos Não-Funcionais



Fonte: Próprio Autor

### 3.1.2.2 Criação do Catálogo

Após a construção da Taxonomia, foi iniciada a criação do nosso Catálogo de Requisitos Não-funcionais, organizando todos os RNFs encontrados nas etapas anteriores com suas definições, atributos e restrições, e seus exemplos. . Nesta tarefa foi realizada a construção de um grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) com os Requisitos Não-Funcionais, adotando a notação do NFR Framework proposto por (CHUNG et al., 2000). Além disso, nesta tarefa foi adotado o Cartão de Especificação baseado baseado no cartão (*snowcard*) do processo Volere (ROBERTSON; ROBERTSON, 2012) para a escrita dos exemplos do catálogo. Os exemplos apresentadas através dos cartões têm o objetivo de ilustrar os Requisitos Não-Funcionais em um contexto real de um sistema embarcado. Este cartão foi utilizado por se adequar bem a nossa abordagem e por ser bastante utilizado no meio acadêmico. A figura 17 apresenta este cartão de especificação.

Figura 17 – Cartão de especificação utilizado para exemplificar os RNFs

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	Um número sequencial	Classificação	Classificação do RNF conforme a hierarquia do catálogo.
Descrição:	Declaração única do significado do requisito		
Justificativa:	Justificativa sobre a criação do requisito		
Origem:	Origem do requisito ( <i>stakeholder</i> , norma técnica e etc...).		
Critério de Ajuste:	Métrica do requisito que possa ser testada e que deve ser satisfeita.		
Dependências:	Requisitos relacionados a este.		
Prioridade:	Um número usado para decidir a importância relativa deste requisitos entre os outros RNFs (varia de 1 a 10). A prioridade mínima é 1 e a máxima é 10.		
Conflitos:	Requisitos conflitantes com este.		
História:	Data de criação e de modificações.		

Fonte: Adaptado de (ROBERTSON; ROBERTSON, 2012)

### 3.1.2.3 Complementar o catálogo com outras fontes

Durante a construção do catálogo, observamos que alguns dos requisitos não apresentaram informações completas (definições/atributos/restrições). Com a finalidade de complementar o catálogo e deixá-lo mais abrangente foram realizadas buscas em outras fontes de informação para se obter um maior nível de detalhamento dos requisitos. Para isso, fizemos buscas *ad-hoc* na literatura em artigos científicos que não foram capturados pela Revisão Sistemática da Literatura e consultas em livros. As fontes externas de informação utilizadas são listadas no APÊNDICE C.

Após estas consultas, foram encontrados 23 novos requisitos. Estes Requisito Não-Funcionais surgiram a partir dos refinamentos e aprimoramentos do requisitos encontradas na fase Levantamento inicial apresentada na Figura 15.

A Tabela 7 apresenta a listagem com os requisitos que surgiram a partir das fontes externas. Esta tabela apresenta o Requisito Não-Funcional e sua fonte(s) de origem, seu RNF de origem com base nos Requisitos-Não funcionais obtidos na atividade de Levantamento Inicial, a quantidade de RNFs encontrados, e a justificativa para a inclusão do requisito no catálogo.

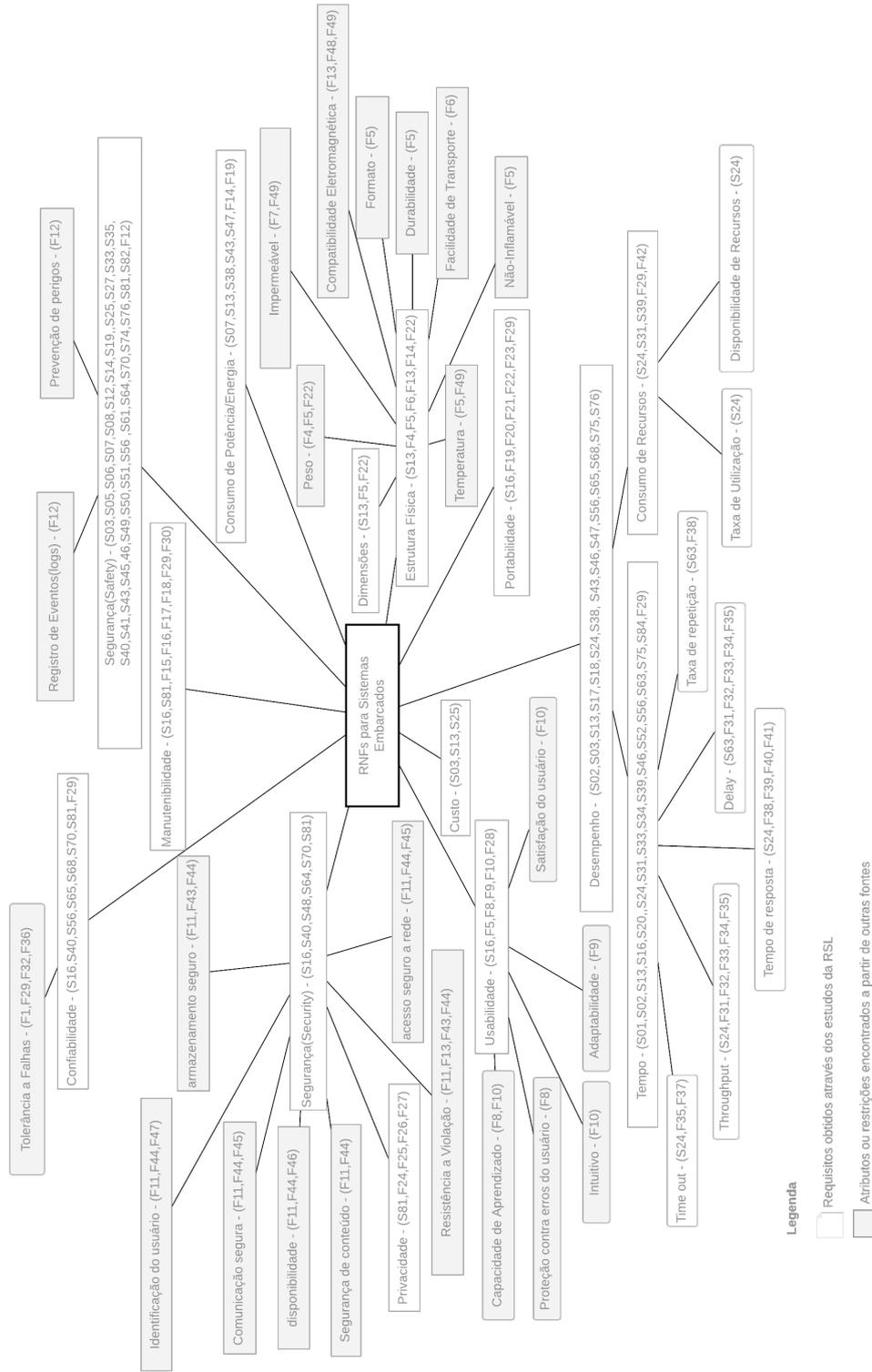
Tabela 7 – Listagem dos Requisitos Não-Funcionais que Surgiram das Fontes Externas

<b>Requisito Não-Funcional e suas Fontes</b>	<b>RNF de Origem</b>	<b>Qtd de RNFs obtidos</b>	<b>Justificativa para Inclusão</b>
Tolerância a Falhas (F1, F29, F32 e F36)	reliability	1	Surgiu a partir do refinamento do requisito Reliability(Confiabilidade)
dimensões (F5 e F22) peso (F4, F5 e F22) formato (F5) durabilidade (F5) facilidade de transporte (F6) não-inflamável (F5) temperatura ( F5 e F49) impermeável (F7 e F49) compatibilidade eletromagnética (F13, F48 e F49)	area	9	As buscas em fontes externas evidenciou um conjunto de aspectos físicos que devem ser considerados em projetos de sistemas embarcados e não apenas o RNF area. Dessa forma o requisito area foi renomeado para estrutura física e todos os aspectos físicos relevantes obtidos foram adicionados como restrições que devem ser levadas em consideração em projetos de sistemas embarcados.
prevenção de perigos (F12) registro de eventos (F12)	safety	2	Surgiu a partir do refinamento do requisito Segurança(Safety)
identificação do usuário (F11, F44 e F47) acesso seguro a rede (F11, F44, F45) comunicação segura (F11, F44 e F45) armazenamento seguro (F11, F43 e F44) segurança de conteúdo (F11 e F44) resistência a violação (F11, F13, F43 e F44)	security	6	Surgiu a partir do refinamento do requisito Segurança(Security)
capacidade de aprendizado (F8 e F10) proteção contra erros do usuário (F8) adaptabilidade (F9) satisfação do usuário (F10) intuitivo (F10)	usability	5	Surgiu a partir do refinamento do requisito Usabilidade(Security)

Fonte:Próprio Autor

Em seguida, todos estes requisitos foram adicionados e organizados hierarquicamente na taxonomia e incluídos no catálogo. A figura 18 apresenta a versão da Taxonomia após a inclusão dos requisitos não funcionais obtidos através das fontes externas listadas no APÊNDICE C.

Figura 18 – Taxonomia de Requisitos Não-Funcionais com a inclusão dos Requisitos Não-Funcionais obtidos das Fontes Externas



Fonte: Próprio Autor

#### 3.1.2.4 Submeter o Catálogo piloto a análise de especialistas

Após a atividade 5 (Complementar o Catálogo com outras fontes) , foi gerada uma versão preliminar do Catálogo NFR4ES que chamamos de catálogo piloto. Esta versão do catálogo foi submetida à análise de quatro especialistas do domínio para a verificação da consistência destes requisitos em aspectos como: relevância, correteude e aplicabilidade em cenários reais etc. Os perfis dos especialistas que realizaram a análise do catálogo foram os seguintes: dois profissionais da área acadêmica com Doutorado que também atuam na indústria e possuem experiência em projetos de sistemas embarcado e dois desenvolvedores experientes que possuem mestrado na área de Sistemas Embarcados embarcados e atualmente trabalham na indústria. Esta análise resultou no aperfeiçoamento do catálogo. Além desta análise, os dois primeiros especialistas citados também contribuíram para a definição das correlações entres os RNFs apresentados no catálogo.

#### 3.1.3 Avaliação

Na etapa de avaliação, foi ilustrado o uso do catálogo através de uma Prova de Conceito, bem como sua avaliação por 10 especialistas do domínio através de um questionário. No capítulo 4 será apresentado todo o detalhamento sobre a aplicação das avaliações, bem como os resultados obtidos.

##### 3.1.3.1 Aplicação da Prova de Conceito

Na atividade 7, o catálogo foi aplicado na elicitação e especificação de um sistema embarcado de uma empresa que atua na área de diagnóstico automatizado de doenças. Esta aplicação foi realizada pelo autor, com base nas informações fornecidas pelo Engenheiro de Hardware de uma empresa pernambucana localizada em Recife-PE. Posteriormente, os artefatos foram gerados pelo autor e validados pelo Engenheiro de Hardware da empresa.

##### 3.1.3.2 Avaliação do catálogo através de um questionário aplicado a especialistas

Na atividade 8 realizamos uma avaliação com 10 profissionais que atuam no domínio de sistemas embarcados. Essa avaliação buscou analisar vários aspectos sobre relevância e utilidade do catálogo.

## 3.2 EXEMPLOS PARA A ILUSTRAÇÃO DO CATÁLOGO

Os requisitos presentes no catálogo apresentam diferentes propósitos e características bem específicas. Dessa forma, para melhor apresentar todos os RNFs abordados dentro de um contexto real, serão utilizados dois domínios de aplicação de sistemas embarcados: o domínio de equipamentos médicos e o domínio automotivo.

Para o domínio de equipamentos médicos e de saúde foram utilizados como objeto de estudo os Sistemas Embarcados de Bombas de Infusão. Para isso foram utilizados 4 projetos: o projeto de uma Bomba de Infusão de Insulina genérica proposta por Zhang et al. (2011), a Bomba de Infusão de Insulina desenvolvida por (MARTINS et al., 2015), o projeto da Bomba de Infusão de Gay (2012) e o manual da Bomba de Insulina da Meditronic (modelo 640 G) desenvolvida pela Meditronic (2015).

Uma Bomba de Infusão é um dispositivo médico usado para administrar líquidos na corrente sanguínea de um paciente de maneira controlada. Bombas de infusão são capazes de fornecer doses em grandes ou pequenas quantidades, e podem ser usadas para fornecer nutrientes ou medicamentos como: insulina, hormônios, antibióticos, drogas quimioterápicas e analgésicos (GAY, 2012).

A bomba de insulina é um instrumento automatizado útil no tratamento a pacientes com diabetes, mas precisamente para o tratamento do *Diabetes Mellitus tipo 1* (DM1)<sup>1</sup>. Esta bomba se propõe a funcionar como o pâncreas, fornecendo insulina de acordo com as necessidades do metabolismo, mantendo os níveis de glicose no sangue dentro de uma faixa normal. Outro aspecto importante da bomba é simplificar a rotina dos pacientes diabéticos que dependem do controle manual dos níveis de glicose e da aplicação manual de insulina com seringa, substituindo o tratamento tradicional por um aparelho adaptável a diversos estilos de vida (MARTINS et al., 2015).

No domínio automotivo foram utilizados dois projetos de sistemas embarcados: o projeto *Active Park Assist 2* (projeto de um assistente de estacionamento) e o projeto *Generic Ethernet Gateway - GWAY* (projeto de um *gateway* automotivo).

O *Active Park Assist 2* é um sistema de assistência ao estacionamento projetado para auxiliar os motoristas, permitindo que o motorista escolha um ponto de estacionamento e quase todo o processo de estacionamento seja automatizado, manobrando o veículo através de vários sensores, do sistema de frenagem, do sistema de aceleração e do sistema de direção. Este sistema visa reduzir as colisões que poderiam ocorrer no estacionamento manual, enquanto reduz o estresse do motorista. O sistema apresenta dois tipos de operação de estacionamento: em paralelo e perpendicular (REEDER et al., 2014).

O *Generic Ethernet Gateway* é sistema proposto por (PATEL et al., 2015) que fornece uma infra-estrutura de comunicações *on-board* facilitando as comunicações entre os diversos sistemas embarcados dentro do veículo e com conexões externas, como estações de trabalho de diagnóstico e reprogramação. Ele é projetado para permitir a comunicação entre vários sistemas embarcados, onde as mensagens podem ter origem em portas CAN ou portas Ethernet, portanto, o *gateway* pode precisar converter protocolos.

---

<sup>1</sup> é uma doença do metabolismo, caracterizada por deficiência total ou parcial do hormônio insulina (GÓES; VIEIRA; JÚNIOR, 2007).

### 3.3 O CATÁLOGO

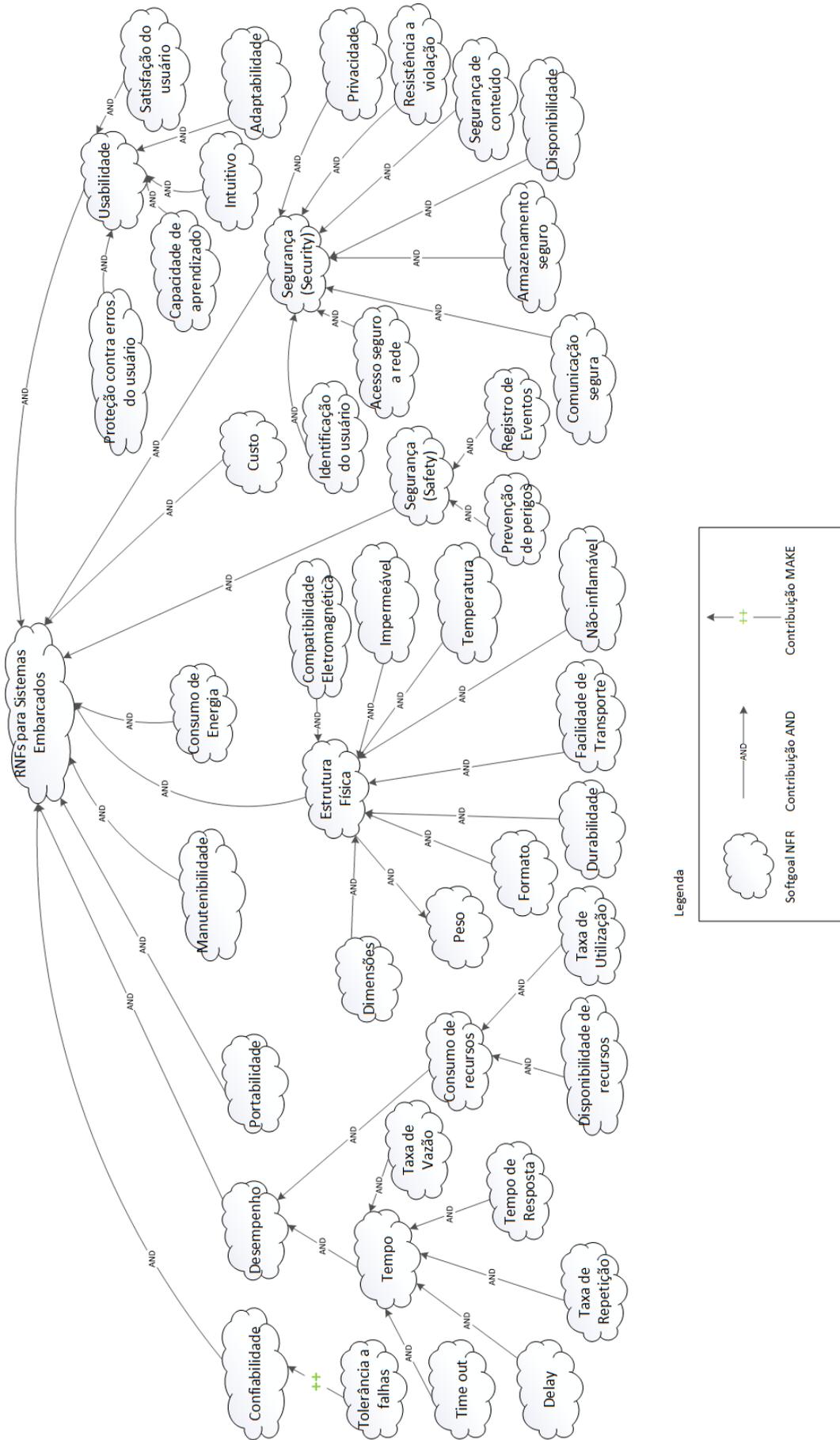
Nesta seção, será apresentado o NFR4ES, o nosso Catálogo de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados. O catálogo apresenta ao todo 44 requisitos. Com este catálogo, visamos auxiliar engenheiros de requisitos e projetistas de embarcados, apresentando as questões que devem ser levadas em consideração em projetos de sistemas embarcados, de acordo com a literatura.

O catálogo compreende:

- Um SIG mostrando a hierarquia dos requisitos e suas correlações.
- As definições de cada requisito.
- Um exemplo para cada requisito

Na figura 19 é apresentado SIG parcial, mostrando apenas a hierarquia dos requisitos.

Figura 19 – Grafo SIG parcial com RNFs para Sistemas Embarcados (Sem correlações)



Fonte: Próprio Autor

A figura 19 apresenta o catálogo através de um grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG). Os Requisitos Não-Funcionais são representados através de *softgoals* NFR, tais como: Confiabilidade, Desempenho e os outros *softgoals* que foram coletados no processo de construção do catálogo. Estes *softgoals* são representados através de nuvens claras. Também são apresentadas os tipos de contribuições "AND" e MAKE(++), entre os *softgoals*.

Além dos softgoals e interdependências, é importante ressaltar a relevância das correlações em um grafo SIG. As correlações visam expressar o impacto que um RNF pode causar em outro. A figura 20 apresenta o catálogo com a inclusão das correlações, que são representadas através de linhas vermelhas tracejadas com o sinal negativo ( - ou -) para expressar as correlações negativas, as linhas verdes tracejadas com o sinal ( + ou ++) expressam as correlações positivas e as linhas cinza tracejadas com um sinal de interrogação (?) indicam uma correlação desconhecida que pode ser positiva ou negativa dependendo do contexto e do sistema em questão.

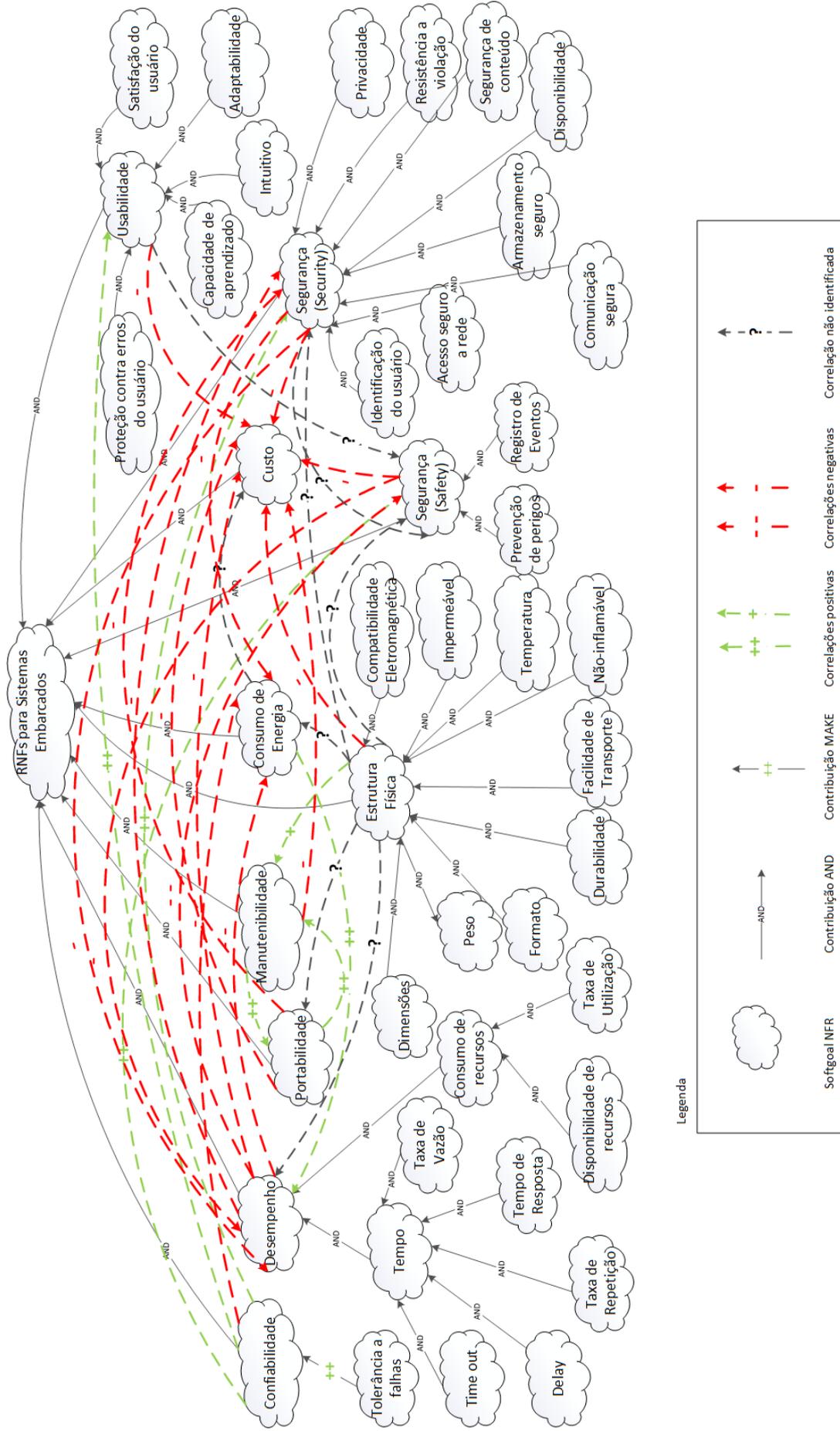
Devido à grande quantidade de correlações, o SIG apresenta baixa legibilidade. Para a melhor identificação e visualização das correlações ilustradas na figura 20, descrevemos também as correlações na forma de listagem na tabela 8. Posteriormente, essa figura é fragmentada mostrando visões parciais do SIG com as correlações referentes a cada NFR individualmente através das Figuras 21, 23, 25, 27, 35, 45, 47, 49, 52 e 61.

As correlações apresentadas na Figura 20 foram definidas com base na aplicação de uma dinâmica com uso de cartões, esta aplicação refletiu o conhecimento e a experiência desses profissionais. A dinâmica com o uso de cartões foi desenvolvida para analisar o impacto de um Requisito Não-Funcional sobre outro. Para isso construímos 10 cartões de papel representando cada Requisito Não-Funcional no primeiro nível do catálogo NFR4ES. Em seguida misturamos todos os cartões, onde o especialista escolhia um cartão representando um Requisito Não-Funcional, e este cartão foi comparado com todos os outros cartões, onde foi analisado o impacto negativo ou positivo e parcial ou total de um Requisito Não-Funcional sobre outro.

A dinâmica foi aplicada a dois especialistas, estes profissionais tem como perfil: Doutorado em Ciência da Computação e ampla experiência em projetos de Sistemas embarcados. Os especialistas participantes foram os professores: Luiz Eduardo Galvão Martins do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), e o professor Abel Guilhermino da Silva Filho do Centro de Informática (CIn) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Devido à natureza subjetiva dos Requisitos Não-Funcionais, e também à heterogeneidade do domínio, é possível que outros especialistas tenham opiniões divergentes. Sendo assim, essas correlações não representam uma imagem definitiva e completa da área, e sim a visão parcial dos especialistas participantes.

Figura 20 – Grafo SIG completo com RNFs para Sistemas Embarcados



Fonte: Próprio Autor

Tabela 8 – Listagem das Correlações do SIG

<b>Confiabilidade</b> (ver Figura 21)
Confiabilidade causa um impacto negativo ( - ) em Consumo de Energia
Confiabilidade causa um impacto positivo (++) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Confiabilidade causa um impacto positivo (++) em Segurança ( <i>Security</i> )
Confiabilidade causa um impacto positivo (++) em Usabilidade
<b>Consumo de Energia</b> (ver Figura 23)
Consumo de Energia causa um impacto positivo (++) em Desempenho
Consumo de Energia causa um impacto desconhecido (?) em Custo
<b>Custo</b> (ver Figura 25)
Não impacta sobre os outros RNFs
<b>Desempenho</b> (ver Figura 27 )
Desempenho causa um impacto negativo ( - - ) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Desempenho causa um impacto negativo ( - - ) em Consumo de Energia
Desempenho causa um impacto negativo ( - ) em Segurança ( <i>Security</i> )
Desempenho causa um impacto negativo ( - ) em Custo
<b>Estrutura Física</b> (ver Figura 35)
Estrutura Física causa um impacto positivo (+) em Manutenibilidade
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Consumo de Energia
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Desempenho
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Portabilidade
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Estrutura Física causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Security</i> )
Estrutura Física causa um impacto negativo ( - ) em Custo
<b>Manutenibilidade</b> (ver Figura 45)
Manutenibilidade causa um impacto positivo ( ++ ) em Portabilidade
Manutenibilidade causa um impacto negativo ( - ) em Custo
<b>Portabilidade</b> (ver Figura 47)
Portabilidade causa um impacto positivo ( ++ ) em Manutenibilidade
Portabilidade causa um impacto negativo ( - ) em Segurança ( <i>Security</i> )
Portabilidade causa um impacto negativo ( - ) em Custo
<b>Segurança (<i>Safety</i>)</b> (ver Figura 49)
Segurança ( <i>Safety</i> ) causa um impacto negativo ( - ) em Desempenho
Segurança ( <i>Safety</i> ) causa um impacto negativo ( - ) em Custo
<b>Segurança (<i>Security</i>)</b> (ver Figura 52)
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto negativo ( - ) em Consumo de energia
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto negativo ( - ) em Desempenho
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Segurança ( <i>Security</i> ) causa um impacto negativo ( - ) em Custo
<b>Usabilidade</b> (ver Figura 61)
Usabilidade causa um impacto desconhecido (?) em Segurança ( <i>Safety</i> )
Usabilidade causa um impacto negativo ( - ) em Custo

Fonte: Próprio Autor

Nas subseções a seguir serão apresentados os requisitos do catálogo, com suas definições e seus atributos ou restrições, além de seus exemplos ilustrativos.

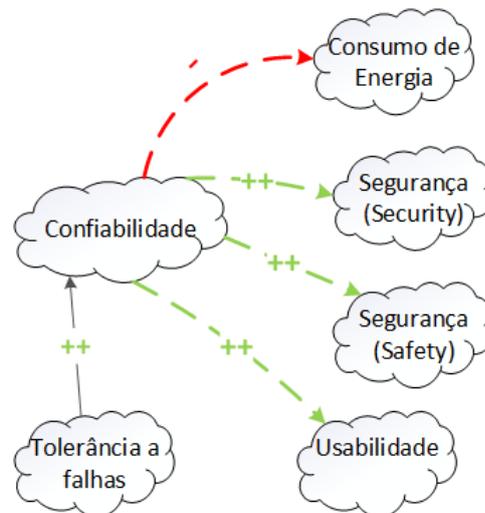
### 3.3.1 Confiabilidade

**Definição:** é a capacidade do sistema de fornecer serviços conforme especificado (SHAN et al., 2016). A confiabilidade do sistema também pode ser definida como a probabilidade do sistema executar sua função pretendida sob limites de projeto especificados (HUANG; CHANG, 2007). A figura 21 expressa os refinamentos e correlações do Requisito Não-Funcional de confiabilidade.

Considerar as questões relacionadas a confiabilidade desde as fases iniciais no projeto de sistemas embarcados é de fundamental importância para o sucesso do produto que será desenvolvido. Podemos citar alguns exemplos de sistemas embarcados em que a confiabilidade é um fator determinante para o seu funcionamento, tais como: sistemas de *airbag*, robôs autônomos, veículos aéreos não tripulados e diversas outras aplicações (ALIEE, 2017).

**Fontes de evidência na literatura:** S16, S40, S56, S65, S68, S70, S81 e F29.

Figura 21 – Requisito de Confiabilidade - Refinamentos e Correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 21 apresenta uma contribuição MAKE (++) do atributo tolerância a falhas para o requisito Confiabilidade. Isto expressa que o atributo tolerância a falhas contribui de forma suficiente positiva para confiabilidade. Além disso, são apresentadas três correlações positivas (++) para os requisitos segurança (*safety*), segurança (*security*) e usabilidade, e uma correlação negativa (-) para o requisito consumo de energia. Essas correlações expressam os impactos que a confiabilidade causa nestes requisitos.

**Atributos:** Tolerância a falhas.

- **Tolerância a falhas:** visa o desenvolvimento de técnicas para evitar falhas de serviços e na presença de falhas fornecer o serviço solicitado, mesmo que em um

nível degradado (AVIZIENIS et al., 2004; ALIEE, 2017). A figura 22 apresenta um cartão de especificação que ilustra um requisito de confiabilidade que trata o atributo tolerância a falhas.

**Fontes de evidência na literatura:** F1, F29, F32 e F36.

Figura 22 – Requisito Não-Funcional: Tratamento de tolerância a falhas

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	1	<b>Classificação</b>	Confiabilidade/Tolerância a falhas
<b>Descrição:</b>	Tratamento de tolerância a falhas - implementar mecanismos de tolerância a falhas através de redundância de hardware ou software		
<b>Justificativa:</b>	O sistema e seus dispositivos devem ser projetados para manter um estado à prova de falhas, e na presença de uma condição de falha que resulte na incapacidade da bomba em garantir sua integridade de operação, a bomba não deve fornecer insulina e nem gerar energia ou substâncias que possam afetar a segurança do usuário.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista de hardware/software		
<b>Critério de aceitação:</b>	Em caso de falha o sistema deve ser capaz de se recuperar e retornar ao seu estado de pleno funcionamento em até 5 segundos.		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	9		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	06/10/2013		

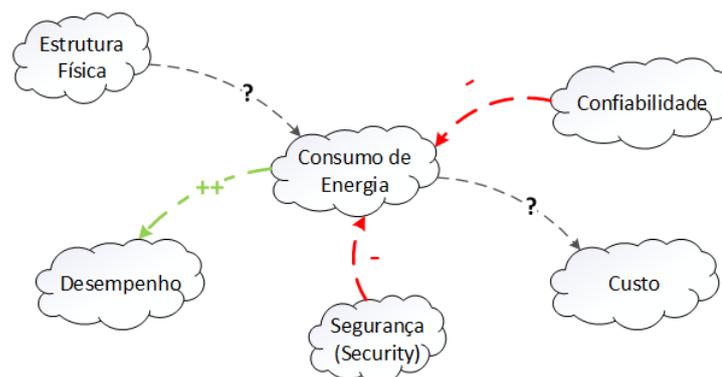
Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

### 3.3.2 Consumo de Energia

**Definição:** são requisitos que definem estratégias para o gerenciamento e consumo de energia do sistema. É um aspecto relevante pois grande parte dos sistemas embarcados são alimentados por baterias portáteis com uma fonte limitada de energia (V.DHIVYA, 2014). A figura 23 expressa as correlações do Requisito Não-funcional consumo de energia.

**Fontes de evidência na literatura:** S07, S13, S38, S43, S47, F14 e F19.

Figura 23 – Requisito Consumo de Energia - Correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 23 apresenta uma correlação positiva(++) para o requisito Desempenho, uma correlação não identificada(?) do requisito Consumo de Energia para o requisito custo e uma correlação não identificada do requisito Estrutura Física para Consumo de Energia. Além disso, são apresentadas duas correlações negativas (-) dos requisitos Confiabilidade e Custo para o requisito Consumo de Energia. Isto implica que, consumo de energia causa um impacto positivo em desempenho. Contudo, Consumo de Energia pode causar um impacto não identificado em Custo. Estrutura Física pode causar algum impacto não identificado em Consumo de Energia. Os requisitos Confiabilidade e Segurança(*security*) causam um impacto negativo em Custo. A figura 24 apresenta um exemplo de um requisito relacionado ao consumo de energia.

Figura 24 – Requisito Não-funcional: Implementar técnicas para redução do consumo de energia.

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	2	<b>Classificação</b>	Consumo de Potencia/Energia
<b>Descrição:</b>	Implementar técnicas para redução do consumo de energia - o sistema deve implementar técnicas para redução do consumo de energia como DVS(Dynamic Voltage Scaling), DPM(Dynamic Power Management) dentre outras.		
<b>Justificativa:</b>	Técnicas de redução de energia contribuem para uma melhor economia de energia e maior autonomia de uso.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista de hardware/Software		
<b>Critério de aceitação:</b>	O Sistema deve possuir um consumo de 300 $\mu$ A em modo ativo e 1,1 $\mu$ A em modo de espera.		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	9		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	08/10/2013		

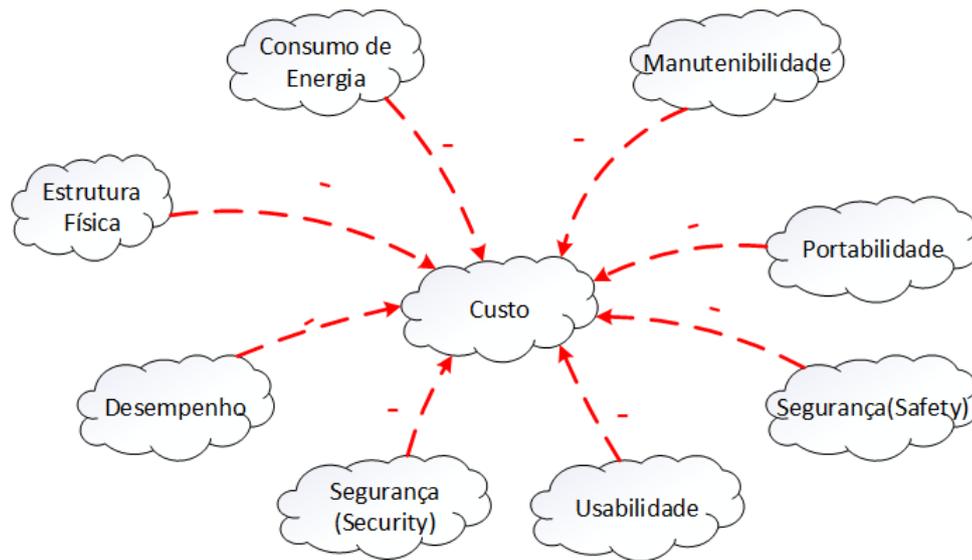
Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

### 3.3.3 Custo

**Definição:** é o Requisito que define o custo unitário do produto. O custo é um fator importante e determinante no projeto de Sistemas Embarcados, pois o custo pode impactar diretamente em escolhas no decorrer do projeto. A figura 25 expressa as correlações do Requisito Não-Funcional Custo.

**Fontes de evidência na literatura:** S03, S13 e S25.

Figura 25 – Requisito Custo - Correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 25 apresenta correlação negativas (-) dos requisitos Consumo de Energia, Desempenho, Estrutura física, Manutenibilidade, Portabilidade, Segurança(safety), Segurança(security) e Usabilidade para o Requisito Não-funcional Custo. Isto implica que, todos os requisitos localizados nas extremidades da figura causam um impacto negativo no Requisito Não-Funcional Custo.

A figura 26 apresenta um exemplo de um Requisito Não-funcional de Custo.

Figura 26 – Requisito não funcional: Implementar técnicas para redução do consumo de energia.

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	3	<b>Classificação</b>	Custo
<b>Descrição:</b>	A bomba de infusão de insulina deve ser de baixo custo.		
<b>Justificativa:</b>	Desenvolver uma bomba de infusão de insulina com baixo custo, acessível aos portadores de diabetes tipo I que estejam nas camadas sociais brasileiras mais baixas.		
<b>Origem do requisito:</b>	Gerente do projeto		
<b>Critério de aceitação:</b>	A bomba de infusão de insulina deve ter o custo de até R\$ 300,00 (trezentos reais).		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	9		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	07/11/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

### 3.3.4 Desempenho

**Definição:** são requisitos que definem uma demanda operacional em relação a tempo de computação e consumo de recursos incluindo, por exemplo, a precisão dos resultados

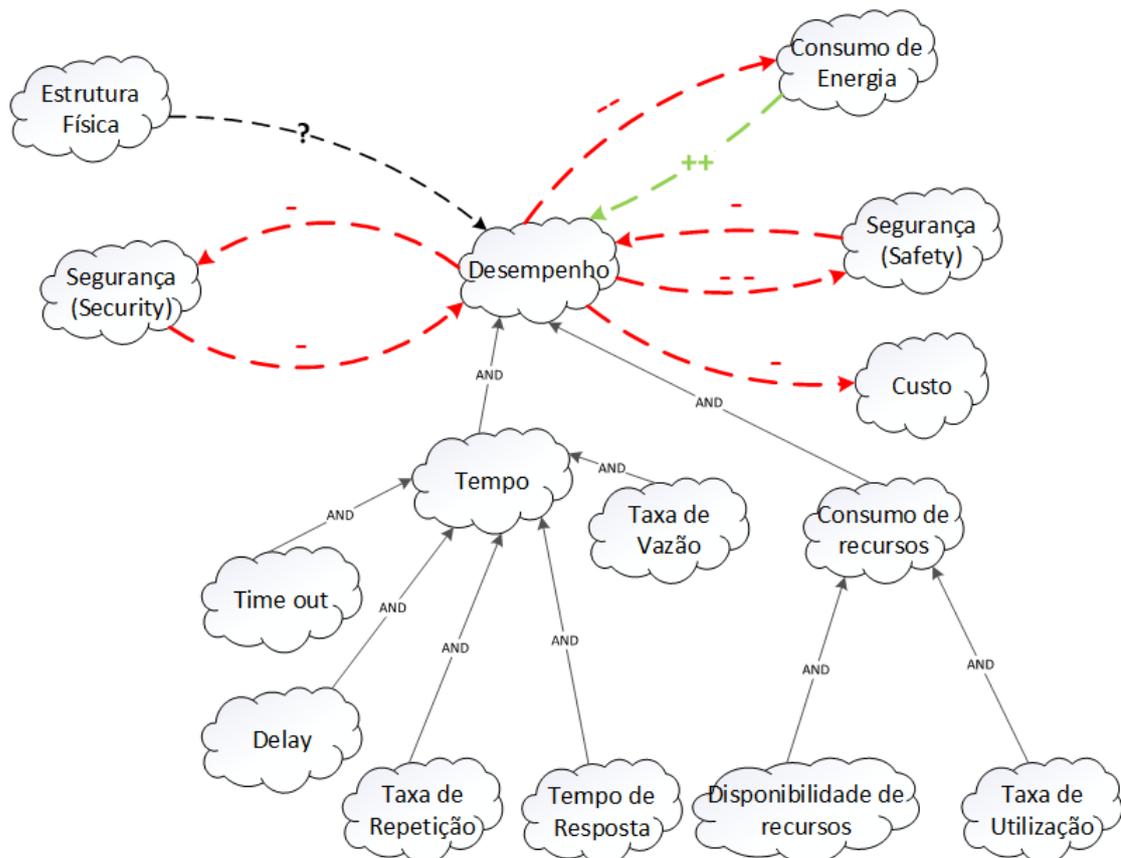
computados (BROY; SLOTOCH, 2001). A figura 27 expressa as contribuições e correlações do requisito desempenho.

**Fontes de evidência na literatura:** S02, S03, S13, S17, S18, S24, S38, S43, S46, S47, S56, S65, S68, S75 e S76.

Sistemas Embarcados definem algum tempo para controlar dispositivos ou processar dados originários do mundo físico, onde os cálculos devem ser implementados sobre um determinado intervalo de tempo (WOLF, 2012).

**Atributos:** Tempo e Consumo de Recursos

Figura 27 – Requisito de Desempenho - contribuições e correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 27 apresenta contribuições "AND" entre os atributos Tempo e Consumo de Recursos e seus sub-atributos para o requisito Desempenho. Também são apresentadas duas correlações suficientemente negativas (- -) para os requisitos Consumo de Energia e Segurança (*safety*), duas correlações parcialmente negativas(-) para os requisitos Segurança (*security*) e Custo, uma correlação não identificada(?) do requisito Estrutura Física para o requisito Desempenho e duas correlações parcialmente negativas (-) dos requisito Segurança(*security*) e Segurança(*safety*) para o requisito Desempenho. Isto implica que, Desempenho causa impactos negativos em Segurança (*safety*), Segurança (*security*) e Consumo de Energia e Custo, Consumo de Energia causa impacto positivo em Desempenho, enquanto Estrutura Física causa impacto desconhecido em Desempenho.

Requisitos de Desempenho são decompostos em requisitos de tempo e consumo de recursos (PIERCE et al., 1997).

### 3.3.4.1 Tempo

**Definição:** são requisitos que expressam a necessidade de temporizar um determinado processo ou sequência de eventos em um processo (PIERCE et al., 1997). Definem diversas restrições de tempo para eventos específicos que são fundamentais no projeto do sistema.

**Fontes de evidência na literatura:** S01, S02, S13, S16, S20, S24, S31, S33, S34, S39, S46, S52, S56, S63, S75, S84 e F29.

**Atributos:** tempo limite (*time-out*), taxa de vazão (*throughput*), tempo de atraso (*delay*), taxa de repetição (*repetition rate*), tempo de resposta (tempo de entrada e saída).

- **Tempo Limite (*Time out*):** é o limite de tempo que é colocado em uma ação (PIERCE et al., 1997). Ou seja, é o tempo crítico especificado para a realização de uma tarefa, que deve ser rigorosamente satisfeito. A figura 28 apresenta um exemplo deste requisito através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** S24, F35 e F37.

Figura 28 – Requisito Não-funcional: tempo limite para o estacionamento

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	4	Classificação	Desempenho/Tempo/Time-out
Descrição:	Tempo limite para estacionamento - o sistema deve realizar a operação de estacionamento com um determinado limite de tempo e caso não seja realizada dentro do limite de tempo o sistema ira abortar a operação.		
Justificativa:	É importante que o sistema realiza as funções de estacionamento em um tempo satisfatório de forma que não atrapalhe o fluxo de outros condutores e pedestres.		
Origem do requisito:	Projetista do sistema		
Critério de aceitação:	O processo de estacionamento deve ser realizado dentro de 75 segundos.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Retirado do documento de requisitos do sistema *Active Park Assist 2* (Assistente de estacionamento) desenvolvido por (REEDER et al., 2014)

- **Taxa de Vazão (*Throughput*):** é a necessidade de realizar um certo numero de ações por unidade de tempo (PIERCE et al., 1997). Ou seja, define um numero de eventos a serem realizados em um determinado intervalo de tempo. A figura 29 ilustra um exemplo deste requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** S24, F31, F32, F33, F34 e F35.

Figura 29 – Requisito Não-Funcional: realizar medições dos nível de glicose por unidade de tempo

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	5	Classificação	Desempenho/Tempo/Taxa de transferência
Descrição:	Realizar medições dos níveis de glicose por unidade de tempo - O sistema deve realizar uma quantidade de medições do nível de glicose do paciente por unidade de tempo.		
Justificativa:	É importante que o sistema monitore regularmente os níveis de glicose do paciente para que as dosagens de insulina sejam aplicadas corretamente.		
Origem do requisito:	Profissional da área de saúde		
Critério de aceitação:	O sistema deve fazer 5 medições do nível de glicose a cada 30 segundos		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	10		
Conflitos:	Nenhum		
História:	08/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Tempo de Atraso (*Delay*):** é o mecanismo que restringe o *delay* (atraso) de um conjunto de entidades até outro conjunto de entidades (CHEN et al., 2011). Portanto expressa um tempo de atraso máximo e aceitável para uma ação realizada pelo sistema. A Figura 30 apresenta um exemplo deste requisito através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** S63, F31, F32, F33, F34 e F35.

Figura 30 – Requisito Não-Funcional: Definir tempo máximo de *delay* em caso de oclusão

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	6	Classificação	Desempenho/Tempo/Delay
Descrição:	Definir tempo maximo de delay em caso de oclusão		
Justificativa:	Durante a utilização da bomba pode ocorrer uma oclusão (entopimento do catéter), caso isso aconteça é necessário que a bomba interrompa o fluxo e acione um alarme dentro um tempo máximo de delay.		
Origem do requisito:	Projetista do sistema		
Critério de aceitação:	A bomba deve parar o fluxo e acionar o alarme dentro de um tempo máximo de delay de 10 segundos.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Taxa de repetição (*Repetition Rate*):** é uma restrição que define o período de disparo de uma função elementar (CHEN et al., 2011). Ou seja, define que uma ação deve ser realizada periodicamente. A figura 31 apresenta um exemplo deste requisito

através de uma cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** S63 e F38.

Figura 31 – Requisito Não-Funcional: Definição de tempo de repetição de teste de CPU

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	7	Classificação	Desempenho/Tempo/Taxa de Repetição
Descrição:	Definição de tempo de repetição para teste de CPU - Um teste de CPU deve ser executado para verificar os registradores do processador.		
Justificativa:	É importante que o sistema realize testes de diagnóstico com a finalidade de verificar o seu pleno funcionamento.		
Origem do requisito:	Projetista de Hardware/Software		
Critério de aceitação:	Um teste de CPU deve ser executado uma vez a cada 30 segundos		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Retirado do documento de requisitos do sistema de bomba de infusão proposto por (GAY, 2012)

- **Tempo de Resposta ou Tempo de Entrada/Saída (*Response Time - Input/Output Time*):** é o tempo permitido entre eventos de entrada e saída (PIERCE et al., 1997). Ou seja, o tempo entre uma ação de entrada de dados no sistema e sua saída. A figura 32 ilustra um exemplo do requisito tempo de resposta.  
**Fontes de evidência na literatura:** S24, F38, F39, F40 e F41.

Figura 32 – Requisito Não-Funcional: abortar uma operação de estacionamento

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	8	Classificação	Desempenho/Tempo/Tempo de Resposta
Descrição:	Abortar uma operação de estacionamento - O sistema deve abortar uma operação de estacionamento através de um comando executado pelo o usuário e com um tempo de resposta preciso.		
Justificativa:	Ao presenciar uma situação perigosa que possa causar uma acidente, o usuário deve, através de um display LCD, abortar o processo de estacionamento		
Origem do requisito:	Projetista Automotivo		
Critério de aceitação:	O sistema deve abortar uma operação de estacionamento em até 2 segundos, após o comando de abortar ser acionado pelo usuário		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	10		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Retirado do documento de requisitos do sistema *Active Park Assist 2* (Assistente de estacionamento) desenvolvido por (REEDER et al., 2014)

### 3.3.4.2 Consumo de Recursos

**Definição:** são requisitos que determinam restrições aos dispositivos envolvidos no sistema. Desta forma podem incluir restrições no processador, disco e memória, bem como qualquer dispositivo externo que possa ser acessado (PIERCE et al., 1997).

**Fontes de evidência na literatura:** S24, S31, S39, F29 e F42.

**Atributos:** disponibilidade de recursos e taxa de utilização.

- **Disponibilidade de Recursos (Resource Availability):** define como os recursos utilizados no sistema estarão disponíveis (PIERCE et al., 1997). Ou seja, como os componentes utilizados pelo sistema serão disponibilizados para uso. A figura 33 apresenta um exemplo de um requisitos relacionado a disponibilidade de recursos.

**Fontes de evidência na literatura:** S24.

Figura 33 – Requisito Não-Funcional: Definir um microcontrolador com memória RAM adequada

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	9	Classificação	Desempenho/Consumo de Recursos/Disponibilidade de recursos
Descrição:	Definir microcontrolador com Memória RAM adequada - O sistema deve possuir um microcontrolador que tenha uma memória RAM com tamanho adequado para o bom funcionamento do sistema.		
Justificativa:	O sistema deve utilizar um microcontrolador com uma quantidade de memória adequada e aceitável para que o seu funcionamento seja eficiente.		
Origem do requisito:	Projetista de Hardware		
Critério de aceitação:	A memória RAM disponível deve ser de no mínimo 1 KB.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	10		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Taxa de Utilização (Utilization Rate):** define uma taxa ou carga de utilização a ser seguida para um determinado recurso (memória, processador e etc..) do sistema (PIERCE et al., 1997). A figura 34 ilustra um exemplo deste requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** S24.

Figura 34 – Requisito Não-Funcional: Definir taxa de uso da memória RAM do microcontrolador.

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	10	Classificação	Desempenho/Consumo de Recursos/Taxa de Utilização
Descrição:	Definir taxa de uso da memória RAM do microcontrolador - o microcontrolador deve utilizar um percentual de memória RAM adequado para o pleno funcionamento do sistema		
Justificativa:	Para que o sistema funcione com um bom desempenho é importante definir limites aceitáveis para o uso da memória RAM		
Origem do requisito:	Projetista de Hardware		
Critério de aceitação:	microcontrolador não deverá utilizar mais de 80% da memória RAM disponível		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

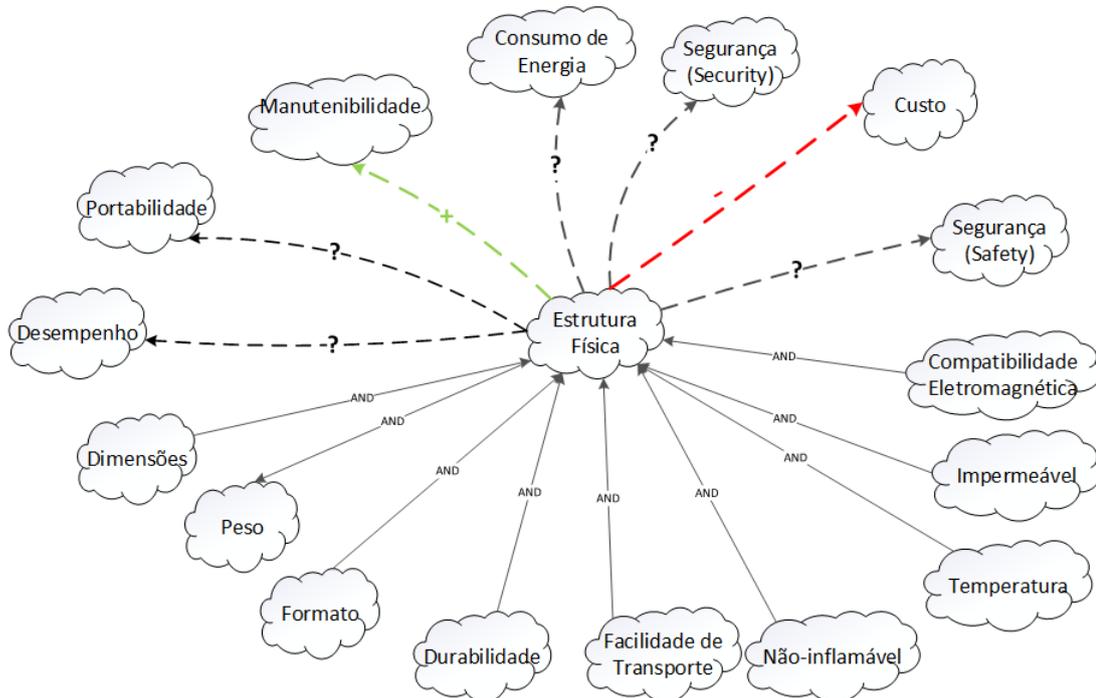
### 3.3.5 Estrutura física

**Definição:** são requisitos que expressam as características físicas sobre os componentes do sistema (WOLF, 2012). A figura 35 expressa os refinamentos e correlações do requisito estrutura física.

Os Sistemas Embarcados estão fisicamente localizados em algum artefato maior, como um veículo, uma máquina de lavar, uma bomba de infusão de medicamentos e diversas outras aplicações. Dessa forma, o seu formato pode ser ditado pela estética e por restrições críticas de tamanho onde geralmente se busca o seu encaixe em pequenos espaços (BOYER, 2008). Observando esse cenário é fundamental definir as características físicas acerca do sistema para apoiar decisões de arquitetura (WOLF, 2012).

**Fontes de evidência na literatura:** S13, F4, F5, F6, F13, F14 e F22.

Figura 35 – Requisito Estrutura Física - contribuições e correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 35 apresenta contribuições "AND" entre os atributos Dimensões, Peso, Formato, Durabilidade, Facilidade de Transporte, Não-Inflamável, Temperatura, Impermeável, Compatibilidade Eletromagnética para o requisito Estrutura Física. Além disso são apresentadas algumas correlações como: uma correlação parcialmente positiva (+) para o requisito Manutenibilidade, uma correlação parcialmente negativa (-) para o requisito Custo e correlações não identificadas (?) para os requisitos Desempenho, Portabilidade, consumo de Energia, Segurança (*security*) e Segurança (*safety*).

**Restrições:** Dimensões, Peso, Formato, Durabilidade, Facilidade de Transporte, Não-Inflamável, Temperatura, Impermeável e Compatibilidade Eletromagnética.

- **Dimensões:** são restrições que expressam as dimensões físicas (área), ou seja, a altura e largura e profundidade do sistema (FREITAS et al., 2007). A figura 36 apresenta um exemplo deste requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** S13, F5 e F22.

Figura 36 – Requisito Não-Funcional: definição das dimensões do sistema

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	11	Classificação	Estrutura Física/Dimensões
Descrição:	Definição das dimensões do sistema - Definir as dimensões de comprimento, largura e espessura.		
Justificativa:	A bomba de insulina deve ter um tamanho adequado para executar suas funções de forma cômoda e com boa usabilidade para o paciente.		
Origem do requisito:	Stakeholder do sistema (Profissional de saúde)		
Critério de aceitação:	A bomba deve ter as seguintes dimensões: 109,3 milímetros de comprimento, 77 milímetros de largura e 25 milímetros de espessura.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Peso:** é o peso adequado para o sistema (WOLF, 2012; WIEGERS; BEATTY, 2013). A figura 37 apresenta um cartão de especificação que ilustra este requisito.  
**Fontes de evidência na literatura:** F4, F5 e F22.

Figura 37 – Requisito Não-Funcional: definição do peso do sistema

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	12	Classificação	Estrutura Física/Peso
Descrição:	Definição do peso do sistema		
Justificativa:	O peso da sistema é uma restrição importante pois está relacionado a usabilidade e ao consumo de energia.		
Origem do requisito:	Projetista de hardware		
Critério de aceitação:	O peso da bomba não pode exceder a 100 gramas		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	8		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Retirado do manual da bomba de insulina da *Meditronic* (modelo 640 G) desenvolvida por (MEDITRONIC, 2015)

- **Formato:** é o formato geométrico do sistema (WIEGERS; BEATTY, 2013). Ou seja é a forma que o sistema é apresentado, por exemplo: em forma de círculo, quadrado, paralelepípedo e etc. A figura 37 ilustra um exemplo deste requisito.  
**Fontes de evidência na literatura:** F5.

Figura 38 – Requisito Não-Funcional: definir o formato do sistema

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	13	Classificação	Estrutura Física/Formato
Descrição:	Definir o formato do sistema - O formato do sistema deve ser quadrado.		
Justificativa:	É importante que o formato do sistema seja definido para que todos os componentes a serem utilizados sejam organizados com precisão em sua área física.		
Origem do requisito:	Projetista de hardware		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	10		
Conflitos:	Nenhum		
História:	08/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Durabilidade:** é a característica que define que o sistema deve ser durável ou resistente no ambiente ao qual está inserido (WIEGERS; BEATTY, 2013). A figura 39 apresenta um cartão de especificação que ilustra este requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** F5.

Figura 39 – Requisito não funcional: O sistema deve ser durável em seu ambiente de uso

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	14	Classificação	Estrutura Física/Durabilidade
Descrição:	O sistema deve ser durável em seu ambiente de uso - é importante que o sistema seja constituído de material adequado e que seja durável e resistente em seu ambiente de uso		
Justificativa:	O sistema deve ser adequar a variações ambientais sem que o seu funcionamento seja prejudicado		
Origem do requisito:	Projetista Automotivo		
Critério de aceitação:	O sistema deve ser constituído de titânio.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no documento de requisitos do sistema automotivo *Generic Ethernet Gateway* proposto por (PATEL et al., 2015)

- **Facilidade de transporte:** é a facilidade do sistema em ser transportado (OSSADA et al., 2012). É uma característica que define que o sistema deve ser portátil, compacto e fácil de ser transportado. A figura 40 exemplifica este requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** F6.

Figura 40 – Requisito não funcional: fácil de Transportar

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	15	Classificação	Estrutura Física/Facilidade de Transporte
Descrição:	Facil de transportar - a bomba deve ser compacta e de fácil transporte.		
Justificativa:	O paciente pode ter a necessidade de deslocamento de um determinado lugar para outro durante o tratamento, portanto é importante que a bomba tenha como característica a facilidade de transporte.		
Origem do requisito:	Projetista de hardware		
Critério de aceitação:	A bomba deve se facilmente adaptável ao corpo do usuário.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	7		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Não-inflamável:** é a característica que define que o sistema não deve ser inflamável, ou seja, não haja a facilidade de combustão (WIEGERS; BEATTY, 2013). A figura 41 apresenta um exemplo deste requisito através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F5.

Figura 41 – Requisito Não-funcional: a bomba de insulina não deve ser inflamável

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	16	Classificação	Estrutura Física/Não inflamável
Descrição:	A bomba de insulina não deve ser inflamável - bomba deve ser constituída de material não inflamável		
Justificativa:	Durante o uso da bomba de insulina pode haver a ocorrência de algum evento que cause perigo de fogo, portanto utilizar material não inflamável é importante para eliminar esse risco.		
Origem do requisito:	Projetista de hardware		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Temperatura:** é a temperatura adequada para o funcionamento do sistema (WIEGERS; BEATTY, 2013). Um exemplo deste requisito é apresentado através do cartão de especificação ilustrado na figura 42.

**Fontes de evidência na literatura:** F5 e F49.

Figura 42 – Requisito Não-funcional: temperatura de funcionamento

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	17	Classificação	Estrutura Física/temperatura
Descrição:	Temperatura de funcionamento - a bomba de insulina deve funcionar dentro de uma faixa específica de temperatura		
Justificativa:	O super aquecimento da bomba pode causar danos ao sistema e ao paciente		
Origem do requisito:	Projetista de hardware		
Critério de aceitação:	A faixa de temperatura para que a bomba de insulina funcione em perfeitas condições é entre 20° e 35°		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	8		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Impermeável:** é uma restrição que define que o sistema deve ser resistente a água (MURUGESAN; RAYADURGAM; HEIMDAHL, 2013). A figura 43 apresenta este requisito com um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F7 e F49.

Figura 43 – Requisito não funcional: o sistema deve ser impermeável

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	18	Classificação	Estrutura Física/Impermeável
Descrição:	O sistema deve ser impermeavel - dever ter a capacidade de ser resistente a água dentro de um determinado limite de exposição.		
Justificativa:	Caso ocorra um acidente e a bomba seja submergida na água é importante que ela não seja danificada ou tenha o seu funcionamento comprometido.		
Origem do requisito:	Projetista de hardware		
Critério de aceitação:	A bomba de insulina deve está protegida contra os efeitos da submersão a uma profundidade até 3,6 metros (12 pés) até 24 horas.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	7		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Retirado do manual da bomba de insulina da meditronic (modelo 640 G) desenvolvida por (MEDITRONIC, 2015)

- **Compatibilidade eletromagnética:** é a capacidade de um sistema elétrico/eletrônico e seus dispositivos de operar em seu ambiente sem sofrer ou causar degradação inaceitável como resultado de interferências eletromagnéticas (TONG, 2016). A figura 44 ilustra este requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** F13, F48 e F49.

Figura 44 – Requisito Não-Funcional: tratamento de interferências

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	19	Classificação	Estrutura Física/Compatibilidade Eletromagnética
Descrição:	Tratamento de interferências - o sistema deve tratar interferências eletromagnéticas em seu ambiente de uso.		
Justificativa:	O sistema pode ser usado em um ambiente que pode possuir outros dispositivos em execução, por isso é importante tratar possíveis interferências que afetem o seu funcionamento.		
Origem do requisito:	Projetista de hardware		
Critério de aceitação:	O sistema não deve acionar alarmes que identifiquem interferências quando colocado em uso com outro dispositivos em um determinado ambiente.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	8		
Conflitos:	Nenhum		
História:	07/10/2013		

Fonte: Retirado do manual da bomba de insulina da *meditronic*(modelo 640 G) desenvolvida por (MEDITRONIC, 2015)

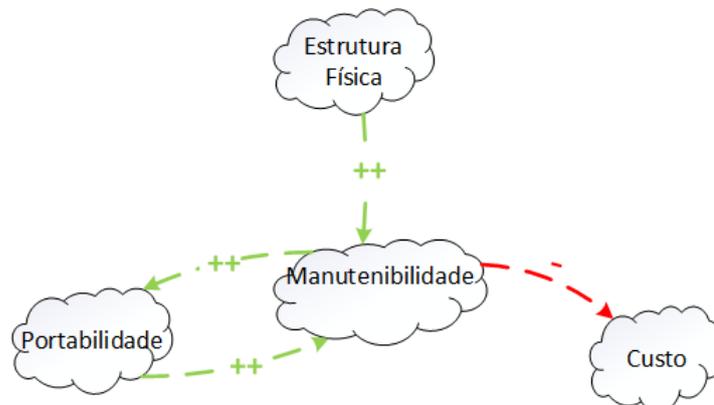
### 3.3.6 Manutenibilidade

**Definição:** é a capacidade do sistema em ser reparado ou substituído (EMILIO, 2015). A figura 45 expressa as correlações do requisito manutenibilidade.

A manutenibilidade é um aspecto relevante no desenvolvimento de software, ela visa apoiar uma manutenção conveniente, rápida e de baixo custo (LUO et al., 2017). Uma atividade comum de manutenção é acrescentar novos recursos para satisfazer as necessidades e a dinâmica do sistema em evolução (SOPHATSATHIT, 2000).

**Fontes de evidência na literatura:** S16, S81, F15, F16, F17, F18, F29 e F30.

Figura 45 – Requisito Manutenibilidade - correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 45 apresenta uma correlação positiva do requisito Manutenibilidade para o requisito portabilidade, uma correlação negativa para o requisito Custo e uma correlação positiva do requisito Portabilidade para o requisito Manutenibilidade. Isto implica que, a Manutenibilidade causa um impacto suficientemente positivo(++) em Portabilidade,

um impacto parcialmente negativo (-) para o Custo, e a Portabilidade causa um impacto suficientemente positivo (++) em Manutenibilidade.

A figura 46 exemplifica este requisito.

Figura 46 – Requisito não funcional: Atualização para correção de bugs e adição de novos recursos

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	20	<b>Classificação</b>	Manutenibilidade
<b>Descrição:</b>	Atualização para correção de bugs e adição de novos recursos		
<b>Justificativa:</b>	Ao longo do tempo de seu ciclo de vida, o sistema pode apresentar a necessidade de correções ou adição de novos recursos, portanto é necessário que o sistema permita atualizações através de seu firmware.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista de Hardware e Software		
<b>Critério de aceitação:</b>	Nenhum		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	7		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	08/10/2013		

Fonte: Retirado do documento de requisitos do sistema *Active Park Assist 2* (Assistente de estacionamento) desenvolvido por (REEDER et al., 2014)

### 3.3.7 Portabilidade

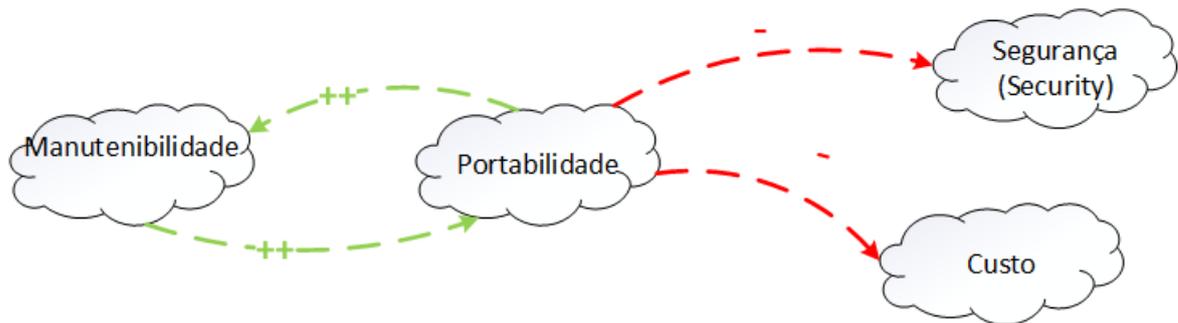
**Definição:** é a capacidade do sistema de ser executado sob diferentes sistemas de computação, hardware, software ou uma combinação de ambos (MATINLASSI, 2004). A figura 47 expressa as correlações do requisito portabilidade.

Em projetos de Sistemas Embarcados é comum que uma aplicação seja migrada de um sistema para outro devido a diversas necessidades que podem surgir durante o ciclo de vida do software. Essas necessidades vão desde a inclusão de um hardware de menor custo a recursos adicionais como memórias e componentes presentes em plataformas específicas (MARCONDES et al., 2004).

É importante ressaltar que o termo "Portabilidade" em Sistemas Embarcados muitas vezes é tratado na literatura como portátil, com a ideia de algo pequeno e compacto que não é o contexto que estamos tratando neste trabalho.

**Fontes de evidência na literatura:** S16, F19, F20, F21, F22, F23 e F29.

Figura 47 – Requisito Portabilidade - correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 47 apresenta uma correlação positiva de Portabilidade para o requisito Manutenibilidade, duas correlações parcialmente negativas para os requisitos custo e Segurança (*security*), e uma correlação Positiva do requisito Manutenibilidade para o requisito Portabilidade. Isto implica que, a Portabilidade causa um impacto suficientemente positivo (++) em Manutenibilidade, um impacto parcialmente negativo (-) em Custo e em Segurança (*security*), e a Manutenibilidade causa um impacto suficientemente positivo (++) em Portabilidade.

A figura 48 apresenta um cartão de especificação para exemplificar um requisito de portabilidade.

Figura 48 – Requisito Não-Funcional: o sistema deve possuir portabilidade de código

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	21	<b>Classificação</b>	Portabilidade
<b>Descrição:</b>	O sistema deve possuir portabilidade de código - O sistema deve funcionar em mais de uma plataforma embarcada		
<b>Justificativa:</b>	O aplicação pode ter a necessidade de ser migrada de um sistema para outro. Isto pode ocorrer por aspectos como a necessidade do uso de um hardware mais barato ou pela necessidade de inclusão de novos recursos		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista do Hardware/Software		
<b>Critério de aceitação:</b>	O sistema deve funcionar tanto com arduino quanto com ESP32		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	8		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	06/10/2013		

Fonte: Baseado no documento de requisitos do sistema *Active Park Assist 2* (Assistente de estacionamento) desenvolvido por (REEDER et al., 2014)

### 3.3.8 Segurança do Tipo *Safety*

**Definição:** são requisitos que se concentram na eliminação e controle de perigos e a limitação de danos em caso de acidente (LEMOS; SAEED; ANDERSON, 1992). A figura 49 expressa os refinamentos e correlações do requisito segurança (*safety*).

Com o grande uso dos Sistemas Embarcados em diversas áreas críticas de segurança, tais como a nuclear, aeroespacial, automobilística e médica entre outras, a Segurança (*safety*) tornou um fator-chave que deve ser levado em consideração durante o desenvolvimento de um Sistema Embarcado (JIANG et al., 2015).

Para um melhor entendimento sobre os requisitos de segurança(*safety*), a Tabela 3.3.8 apresenta as principais definições de Segurança (*safety*).

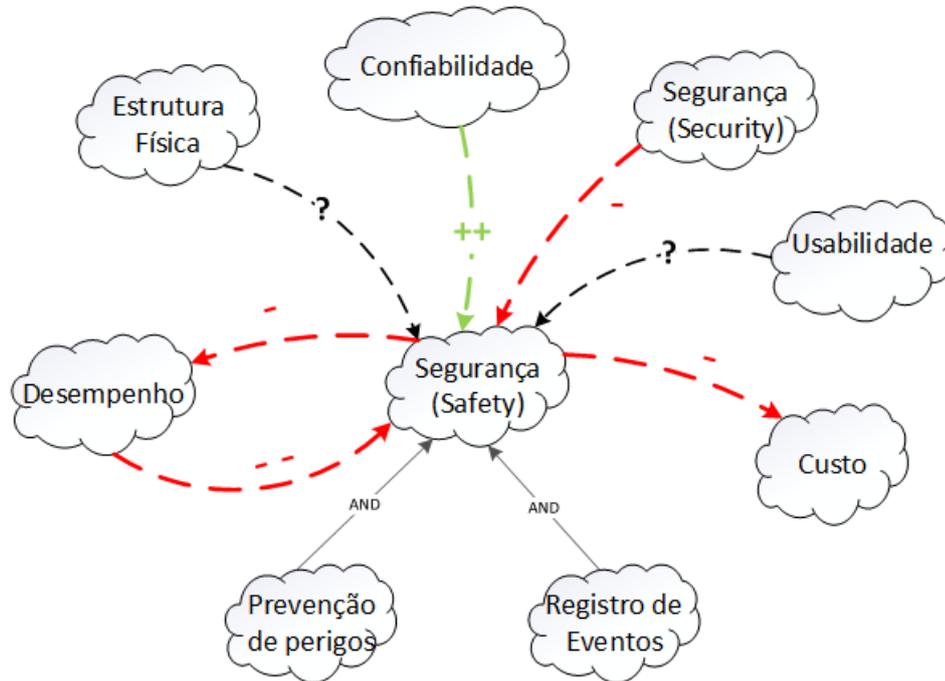
Tabela 9 – Principais termos e definições em segurança do tipo *safety*

<b>Termo</b>	<b>Definição</b>
Ativo ( <i>Asset</i> )	qualquer coisa de valor que deve ser protegida contra danos acidentais (FIRESMITH, 2003).
Dano ( <i>Harm</i> )	impacto negativo associado a um ativo devido a um acidente (FIRESMITH, 2003).
Incidente	evento ou coleção coesa de eventos relacionados que possam causar danos a um ativo valioso (FIRESMITH, 2003) .
Acidente	evento não planejado e não intencional (mas não necessariamente inesperado) ou uma série de eventos relacionados resultando em danos a um ativo (FIRESMITH, 2003).
Perigo ( <i>Hazards</i> )	é uma situação que aumenta a probabilidade de um ou mais acidentes relacionados (FIRESMITH, 2003).
Risco ( <i>Risk</i> )	combinação da probabilidade de ocorrência de danos e da gravidade desse dano(??).

Fonte: Próprio Autor

**Fontes de evidência na literatura:** S03, S05, S06, S07, S08, S12, S14, S19, S25, S27, S33, S35, S40, S41, S43, S45, S46, S49, S50, S51, S56 , S61, S64, S70, S74, S76, S81, S82, F12.

Figura 49 – Requisito Segurança(Safety) - refinamentos e correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 49 apresenta contribuições "AND" dos requisitos Prevenção de Perigos e Registro de Eventos para o requisito Segurança (*safety*). Além disso são apresentadas duas correlações parcialmente negativas (-) de segurança (*safety*) para os requisitos Custo e Desempenho, uma correlação suficientemente positiva (++) do requisito Confiabilidade para o requisito Segurança (*safety*), uma correlação suficientemente negativa(-) do requisito Desempenho para Segurança (*safety*), e duas correlações não identificadas dos requisitos Estrutura Física e Usabilidade para o requisito segurança(*safety*)

**Atributos:** Prevenção de Perigos e Registro de Eventos.

- **Prevenção de perigos:** são requisitos que definem os perigos que devem ser levados em consideração e serem tratados no projeto do sistema (FIRESMITH, 2005). A Figura 50 apresenta um cartão de especificação que ilustra este requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** F12.

Figura 50 – Requisito Não-funcional: identificação de obstáculos

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	22	Classificação	Segurança(safety)/Proteção de perigos
Descrição:	Identificação de obstáculos - o sistema deve ser capaz detectar obstáculos durante o processo de estacionamento.		
Justificativa:	Durante uma operação de estacionamento é importante que obstáculos(parados ou em movimento) sejam detectados pelo sistema para que não ocorram acidentes		
Origem do requisito:	Projetista automotivo		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	10		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado do documento de requisitos do sistema *Active Park Assist 2* (Assistente de estacionamento) desenvolvido por (REEDER et al., 2014)

- **Registro de Eventos (*event logging*):** são requisitos com foco na coleta de informações de diagnóstico úteis e com precisão aceitável sobre o mal funcionamento do sistema. Embora não protejam o usuário de eventos adversos causados pelo sistema, podem auxiliar na análise da causa dos problemas e evitar que estes problemas ocorram novamente (ZHANG et al., 2011). O cartão de especificação que apresenta um exemplo deste requisito é ilustrado na figura 51.

**Fontes de evidência na literatura:** F12.

Figura 51 – Requisito Não-funcional: criar um *log* do histórico de infusão

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	23	Classificação	Segurança(safety)/Registro de eventos(event logging)
Descrição:	Criar um log do histórico de infusão - o sistema deve criar um registro do histórico de infusão e condições perigosas para fins de auditoria		
Justificativa:	Um registro com um histórico de infusão e das condições de perigo é importante para detectar problemas no processo de infusão		
Origem do requisito:	Projetista de Hardware/Software		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	10		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Retirado do documento de requisitos do sistema de bomba de infusão proposto por (GAY, 2012)

### 3.3.9 Segurança do Tipo *Security*

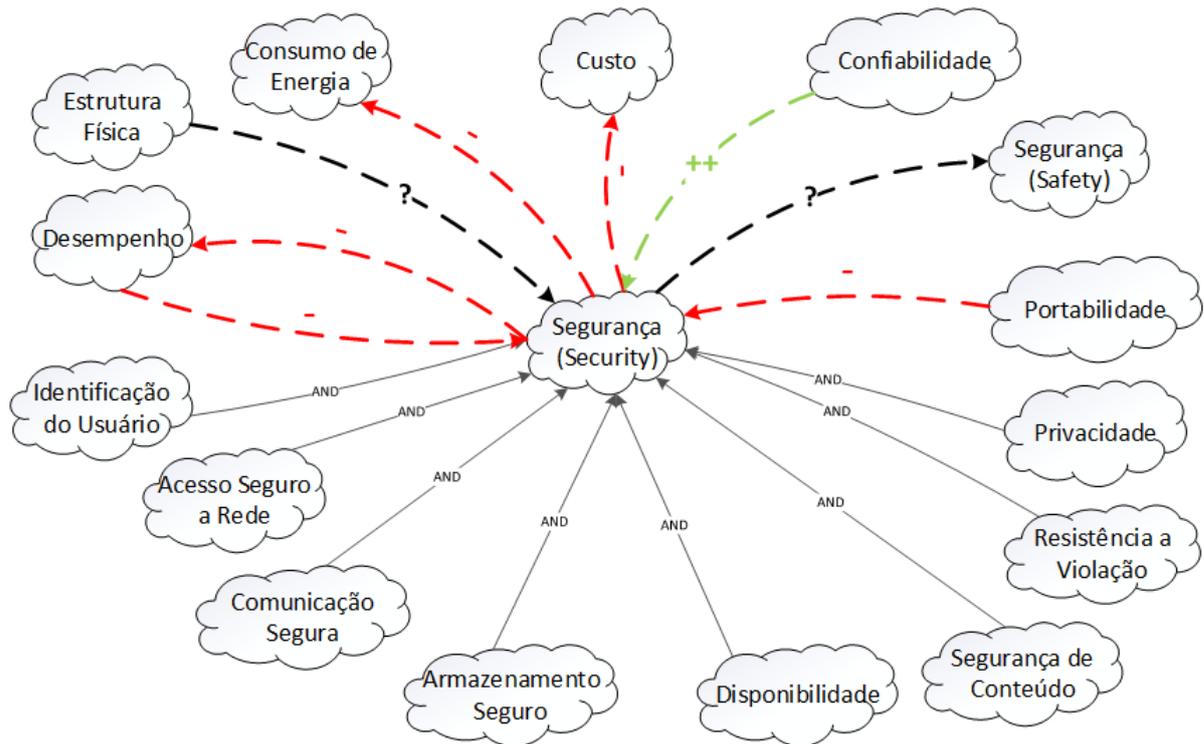
**Definição:** são requisitos que se concentram na capacidade do sistema em se proteger contra invasões acidentais ou deliberadas (LI; MA; YAO, 2015). A figura 52 expressa as

contribuições e correlações do requisito segurança(*security*).

Sistemas Embarcados geralmente fornecem funções críticas que podem de alguma forma serem sabotadas por entidades maliciosas. É de fundamental importância ressaltar que existem muitas questões de segurança no projeto e no uso de sistemas embarcados (KOCHER et al., 2004).

**Fontes de evidência na literatura:** S16, S40, S48, S64, S70 e S81.

Figura 52 – Requisito Segurança(Security) - contribuições e correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 52 apresenta contribuições "AND" entre os atributos Identificação do Usuário, Acesso Seguro a Rede, Comunicação Segura, Armazenamento Seguro, Disponibilidade, Segurança de Conteúdo, Resistência a Violação e Privacidade para o requisito Segurança(*security*). Além disso são apresentadas algumas correlações do requisito Segurança(*security*) para os outros requisitos, como: uma correlações não identificadas (?) para o requisito Segurança (*safety*), correlações parcialmente negativas (-) para os requisitos Custo, Desempenho e Consumo de Energia. Também são apresentadas correlações dos requisitos Desempenho e Portabilidade para o Segurança (*security*), e um correlação não identificada do requisito Estrutura Física para o requisito Segurança(*security*).

**Atributos:** Identificação do Usuário, Acesso Seguro a Rede, Comunicação Segura, Armazenamento Seguro, Disponibilidade, Segurança de conteúdo, Resistência a violação, e Privacidade.

- **Identificação do Usuário:** é o processo de validação dos usuários antes de permitir que eles usem o sistema (RAVI et al., 2004). A figura 53 ilustra este requisito através

de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F11, F44 e F47.

Figura 53 – Requisito Não-Funcional: identificação dos usuários

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	24	Classificação	Segurança/Identificação do usuário
Descrição:	Identificação dos usuários - autenticação e autorização de usuários do sistema		
Justificativa:	A bomba deve fornecer medidas de proteção a acesso não autorizado, como proteção por login e senha ou biometria, para assegurar que pessoas não autorizadas não adulterem dados críticos para a administração de insulina.		
Origem do requisito	Projetista de software		
Critério de aceitação:	O sistema deve fornecer pelo menos duas formas de autenticação dos usuários.		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	8		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Acesso Seguro à Rede:** é o fornecimento de uma conexão de rede ou acesso a um serviço somente se o dispositivo estiver autorizado (RAVI et al., 2004). Este requisito é apresentado através de um exemplo na Figura 54.

**Fontes de evidência na literatura:** F11, F44, F45.

Figura 54 – Requisito não funcional: definir permissão de acesso somente a dispositivos autorizados

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	25	Classificação	Segurança(security)/acesso seguro a rede
Descrição:	Definir permissão de acesso somente a dispositivos autorizados - o sistema deve implementar mecanismos de autenticação de dispositivos como por exemplo autenticação por senha, para permitir que só acessem a rede os dispositivos autorizados.		
Justificativa:	O acesso a rede por um dispositivo não autorizado pode colocar em risco os dados e serviços fornecidos.		
Origem do requisito:	Projetista Automotivo		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	8		
Conflitos:	Nenhum		
História:	08/10/2013		

Fonte: Baseado no documento de requisitos do sistema automotivo *Generic Ethernet Gateway* proposto por (PATEL et al., 2015)

- **Comunicação Segura:** é o processo de autenticação de pares de comunicação,

garantindo a confidencialidade<sup>2</sup> e a integridade<sup>3</sup> dos dados comunicados, evitando o repúdio de uma entidade em uma transação e protegendo a identidade das entidades envolvidas (RAVI et al., 2004). A figura 55 apresenta um exemplo deste requisito através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F11, F44 e F45.

Figura 55 – Requisito Não-Funcional: Implementar mecanismos de comunicação segura

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	26	<b>Classificação</b>	Segurança(security)/Comunicação Segura
<b>Descrição:</b>	Implementar mecanismos de comunicação segura - A comunicação entre dispositivos precisa ser criptografada utilizando algum protocolo como SSH, SSL dentre outros.		
<b>Justificativa:</b>	As comunicações precisam ser protegidas com segurança com a finalidade de preservar suas informações.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista Automotivo		
<b>Critério de aceitação:</b>	Nenhum		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	8		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	08/10/2013		

Fonte: Baseado no documento de requisitos do sistema automotivo *Generic Ethernet Gateway* proposto por (PATEL et al., 2015)

- **Armazenamento Seguro:** é a confidencialidade e integridade de informações armazenadas no sistema (RAVI et al., 2004). A figura 56 apresenta um cartão de especificação para ilustrar este requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** F11, F43 e F44.

<sup>2</sup> A confidencialidade garante que as informações críticas de um sistema embarcado, como o código da aplicação e seus dados não possam ser divulgadas a entidades não autorizadas(VAI et al., 2016)

<sup>3</sup> A integridade garante que entidades não autorizados alterem informações do sistema(VAI et al., 2016).

Figura 56 – Requisito Não-Funcional: Definir estratégia de armazenamento seguro

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	27	<b>Classificação</b>	Segurança(security)/Armazenamento Seguro
<b>Descrição:</b>	Definir estratégia de armazenamento seguro - O sistema de Bomba de Insulina deve armazenar os dados de forma criptografada para garantir a integridade e confidencialidade das informações armazenadas.		
<b>Justificativa:</b>	É necessário que as informações armazenadas no sistema sejam protegidas contra o acesso e modificações não autorizadas.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista de Software da Bomba de Infusão de Insulina		
<b>Critério de aceitação:</b>	Nenhum		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	8		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	08/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Disponibilidade:** é uma característica que visa garantir que o sistema possa executar a função pretendida e atender a usuários legítimos a qualquer momento, sem ser interrompido por ataques de negação de serviço (RAVI et al., 2004). A figura 33 apresenta um cartão de especificação para exemplificar este requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** S38, S70, S81, F11, F44 e F46.

Figura 57 – Requisito Não-funcional: O sistema deve possuir alta disponibilidade

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	28	<b>Classificação</b>	Segurança(security)/Disponibilidade
<b>Descrição:</b>	O sistema deve possuir alta disponibilidade - deve se implementar mecanismos para garantir que os serviços existentes estejam disponíveis e evitar ataques de negação de serviço.		
<b>Justificativa:</b>	A indisponibilidade de alguns serviços pode comprometer a realização de tarefas importantes e comprometer serviços interdependentes.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista Automotivo		
<b>Critério de aceitação:</b>	Os principais serviços devem está sempre disponíveis		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	8		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	08/10/2013		

Fonte: Baseado no documento de requisitos do sistema automotivo *Generic Ethernet Gateway* proposto por (PATEL et al., 2015)

- **Segurança de Conteúdo:** são as restrições de uso do conteúdo digital armazenado ou acessado pelo sistema (RAVI et al., 2004). A figura 58 ilustra um exemplo deste requisito através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F11 e F44.

Figura 58 – Requisito Não-Funcional: Manter Sigilo de conteúdo

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	29	Classificação	Segurança(security)/Segurança de Conteúdo
Descrição:	Manter sigilo de conteúdo - As informações sobre o conteúdo clínico do paciente armazenadas no sistema devem ser restritas aos profissionais de saúde, e não devem ser divulgadas.		
Justificativa:	É fundamental que as informações sigilosas sobre os pacientes não sejam divulgadas por terceiros, de modo a causarem problemas legais.		
Origem do requisito:	Código de ética médica		
Critério de aceitação:	Nenhum paciente deve ter suas informações pessoais e clínicas divulgadas		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	10		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Resistência a Violação:** se refere ao projeto de uma arquitetura de sistema e implementação resistente a ataques (RAVI; RAGHUNATHAN; CHAKRADHAR, 2004). A figura 59 apresenta um exemplo deste requisito através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F11, F13, F43 e F44.

Figura 59 – Requisito Não-Funcional: Implementar técnicas de proteção

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	30	Classificação	Segurança(security)/Resistência a Violação
Descrição:	Implementar técnicas de proteção - Implementar mecanismos de proteção a ataques como um firewall emarcado, IDS dentre outras.		
Justificativa:	Durante a execução do sistema devem existir técnicas de proteção com a finalidade de evitar ataques como: negação de serviço, ataques de indução a falhas, ataques físicos e etc.		
Origem do requisito:	Projetista de redes automotivas		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	9		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no documento de requisitos do sistema automotivo *Generic Ethernet Gateway* proposto por (PATEL et al., 2015)

- **Privacidade:** são requisitos relacionados a proteção das informações pessoais e recursos do sistema contra pessoas não autorizadas (SERPANOS; VOYIATZIS, 2013). A figura 60 apresenta um cartão de especificação para exemplificar este requisito.
- Fontes de evidência na literatura:** S81, F24, F25, F26 e F27.

Figura 60 – Requisito Não-Funcional: Implementação de criptografia para proteção de mensagens

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	31	<b>Classificação</b>	Segurança(security)/Privacidade
<b>Descrição:</b>	Implementação de criptografia para proteção de mensagens - o sistema deve usar criptografia para proteger o sequestro de mensagens		
<b>Justificativa:</b>	É necessário que as mensagens que trafegam pela rede sejam protegidas contra invasores, portanto medidas de proteção devem ser tomadas para o evitar o acesso ou corrupção das informações transmitidas.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista automotivo		
<b>Critério de aceitação:</b>	Nenhum		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	9		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	06/10/2013		

Fonte: Baseado no documento de requisitos do sistema automotivo *Generic Ethernet Gateway* proposto por (PATEL et al., 2015)

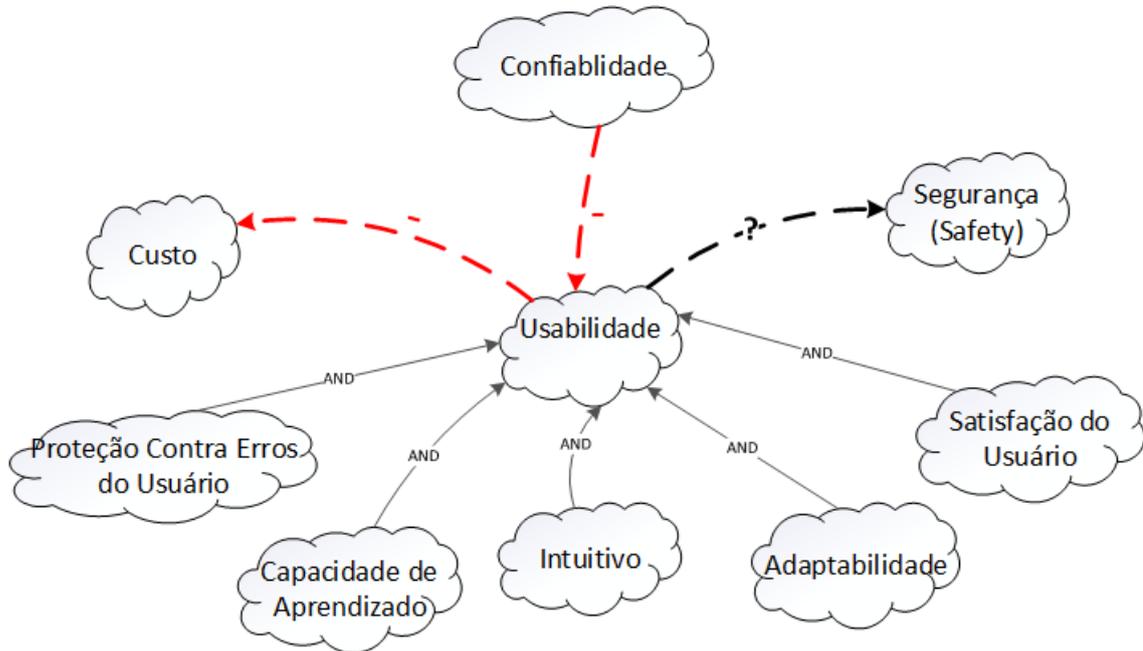
### 3.3.10 Usabilidade

**Definição:** é um requisito que especifica a interação do usuário final com o sistema e o esforço necessário para aprender, operar, preparar a entrada e interpretar a saída do sistema (MAIRIZA; ZOWGHI; NURMULIANI, 2010). A figura 61 expressa os refinamentos e correlações do requisito usabilidade

Com o rápido crescimento da tecnologia embarcada, os sistemas embarcados tem sido utilizados nas variadas áreas e em diversos tipos de aplicações. Dessa forma, surgem mais desafios em relação seu *design* para o uso interativo, desempenho e aceitação do produto (UMAR; GHAZALI, 2014).

**Fontes de evidência na literatura:** S16, F5, F8, F9, F10 e F28.

Figura 61 – Requisito Usabilidade - refinamentos e correlações



Fonte: Próprio Autor

A figura 61 apresenta contribuições "AND" entre os atributos Proteção Contra Erros do Usuário, Capacidade de Aprendizado, Intuitivo, Adaptabilidade e Satisfação do Usuário para o requisito Usabilidade. Além disso são apresentadas algumas correlações como: uma correlação não identificada(?) do requisito Usabilidade para o requisito Segurança(safety), uma correlação parcialmente negativa(-) do requisito Usabilidade para o requisito Custo e uma correlação parcialmente negativa do requisito Confabilidade para o requisito Usabilidade.

**Atributos:** Proteção Contra Erros do Usuário, Capacidade de Aprendizado, Intuitivo, Adaptabilidade, e Satisfação do Usuário.

- **Capacidade de aprendizado:** concentra-se na facilidade com que os usuários podem concluir uma tarefa na primeira vez que usam um aplicativo e com que rapidez os usuários podem melhorar seus níveis de desempenho (por exemplo, fácil de usar)(ZHANG; ADIPAT, 2005). A figura 62 ilustra este requisitos através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F8 e F10.

Figura 62 – Requisito Não-Funcional: o sistema deve ser de fácil utilização

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	32	Classificação	Usabilidade/Capacidade de Aprendizado
Descrição:	O sistema deve ser de fácil aprender - O sistema de Bomba de Infusão de Insulina deve fornecer para os usuários uma interface de interação auto explicativa através de botões e indicações sobre os principais comandos e operações disponíveis de forma que o usuário aprenda a utiliza-lo de forma rápida e simples.		
Justificativa:	É fundamental que o sistema permita que os usuários realizem suas operações de forma simples, sem que haja dificuldade durante o seu uso.		
Origem do requisito:	Projetista de Software da Bomba de Infusão de Insulina		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	8		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Proteção contra erros dos usuário:** é a capacidade que um sistema proteger os usuários contra erros cometidos por eles mesmos (ZHANG; ADIPAT, 2005). Na figura 63 um cartão de especificação com um exemplo desse requisito é apresentado.  
**Fontes de evidência na literatura:** F8.

Figura 63 – Requisito Não-Funcional: Definir perfis de infusão

Cartão de Especificação			
Nr Requisito:	33	Classificação	Usabilidade/Proteção Contra Erros do Usuário
Descrição:	Definir perfis de infusão - O sistema de Bomba de Insulina deve ter um registro com os perfis aceitáveis de infusão de insulina que podem ser utilizados por um paciente		
Justificativa:	Para evitar que o paciente defina um valor de infusão de insulina fora dos limites estabelecidos pelo sistema e ocorra uma overdose ou underdose		
Origem do requisito:	Profissional de saúde		
Critério de aceitação:	Nenhum		
Dependências:	Nenhum		
Prioridade:	8		
Conflitos:	Nenhum		
História:	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Adaptabilidade:** capacidade de um dispositivo se adaptar às características específicas do usuário (HARVEY et al., 2011). O cartão de especificação apresentado na figura 64 demonstra um exemplo deste requisito.  
**Fontes de evidência na literatura:** F9.

Figura 64 – Requisito Não-Funcional: Os alarmes de segurança do sistema devem ser percebidos por qualquer usuário

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	34	<b>Classificação</b>	Usabilidade/Adaptabilidade
<b>Descrição:</b>	Os alarmes de segurança do sistema da Bomba de Infusão de Insulina devem ser percebidos por qualquer usuário.		
<b>Justificativa:</b>	A bomba pode ser utilizada por pacientes com deficiência auditiva ou visual, portanto é importante que uma condição de alarme seja indicada através de sinais auditivos/táteis e visuais.		
<b>Origem do requisito:</b>	Profissional de saúde		
<b>Critério de aceitação:</b>	Após uma condição de alarme o paciente deve interromper o funcionamento da bomba em até 10 segundos.		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	8		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)  
 Fonte: Próprio Autor

- **Satisfação do Usuário:** é uma característica que pode ser determinada pela flexibilidade da interface do usuário e pela opinião do usuário após o uso do sistema (WAHAB et al., 2011). A Figura 65 apresenta um exemplo deste requisitos através de um cartão de especificação.

**Fontes de evidência na literatura:** F10.

Figura 65 – Requisito Não-Funcional: Obter a opinião dos usuários

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	35	<b>Classificação</b>	Usabilidade/Satisfação do Usuário
<b>Descrição:</b>	Obter a opinião dos usuários - deve se realizar uma avaliação com usuários na finalidade de verificar o quanto eles estão satisfeitos com o sistema da Bomba de Infusão de Insulina		
<b>Justificativa:</b>	A má usabilidade do sistema é um fator negativo, pois pode prejudicar o usuário na realização de tarefas. Verificar a satisfação do usuário de acordo com suas experiências e realizar mudanças necessárias pode contribuir de forma positiva para a aceitação do sistema		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista de software da Bomba de Infusão de insulina		
<b>Critério de aceitação:</b>	Nenhum		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	7		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	06/10/2013		

Fonte: Baseado no sistema de bomba de infusão de insulina desenvolvido por (MARTINS et al., 2015)

- **Intuitivo:** exprime a capacidade de entender naturalmente as tarefas em vez de ter que raciocinar ou observar (WAHAB et al., 2011). A figura 66 apresenta um cartão

de especificação para exemplificar este requisito.

**Fontes de evidência na literatura:** F10.

Figura 66 – Requisito Não-Funcional: Implementar interação simples e intuitiva

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	36	<b>Classificação</b>	Usabilidade/Intuitivo
<b>Descrição:</b>	Implementar interação simples e intuitiva - a interação do usuário com o sistema Active Park Assist deve ser simples e intuitiva realizada através de um display LCD		
<b>Justificativa:</b>	O processo de interação do sistema através de um display LCD com touchscreen deve permitir que usuários de diferentes origens e níveis de habilidades possam ativar o sistema e fornecer as entradas para uma operação.		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista Automotivo		
<b>Critério de aceitação:</b>	O usuário deve ser capaz de ativar o sistema e selecionar a operação(tipo de estacionamento) em até 10 segundos.		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	8		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	06/10/2013		

Fonte: Retirado do documento de requisitos do sistema *Active Park Assist 2* (Assistente de estacionamento) desenvolvido por (REEDER et al., 2014)

Nesta seção foram apresentados os requisitos do Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados com suas descrições e exemplos. Na seção a seguir, será apresentada uma proposta de uso para Catálogo, ou seja, como ele pode ser utilizado para realizar a elicitação e especificação de sistemas embarcados.

### 3.4 DIRETRIZES DE USO DO CATÁLOGO

Nesta seção, apresentamos uma proposta preliminar de uso do catálogo NFR4ES. Foram definidas algumas diretrizes para a atividade de elicitação e especificação com o uso do catálogo. No final, esperamos obter um conjunto de Requisitos Não-Funcionais bem como a sua documentação através dos cartões de especificação. A seguir apresentamos as etapas da proposta de uso.

- **Diretriz 1: Definição dos Requisitos:** com base no catálogo NFR4ES, definir quais os Requisitos Não-Funcionais que serão utilizados. O catálogo apresenta 44 tipos de requisitos que podem ser instanciados. Nesta etapa definimos os Requisitos Não-Funcionais que irão compor o sistema. Por exemplo, na perspectiva de um sistema automotivo, pode-se definir que os requisitos relacionados a Segurança do tipo *Security* devem ser tratados e especificados. Dessa forma deve-se verificar quais os atributos necessários relacionados a este tipo de segurança presentes no catálogo serão tratados no sistema que será desenvolvido. Em seguida são definidas instâncias desses atributos.

- **Diretriz 2: Construção do SIG:** baseado no conjunto dos requisitos obtidos nas etapas anteriores pode ser realizada a construção do grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG). Neste grafo SIG serão ilustrados os Requisitos Não-Funcionais através de *softgoals*, bem como seus refinamentos, possíveis correlações, tópicos, prioridades e operacionalizações.
- **Diretriz 3: Documentação dos Requisitos:** após o levantamento de todos os requisitos do sistema e a construção do grafo SIG, a documentação dos Requisitos Não-Funcionais pode ser realizada com base no cartão de especificação apresentado neste capítulo, apresentando a descrição e o detalhamento do requisito.

A proposta de uso apresentada para o catálogo foi definida através de 3 diretrizes, onde estas diretrizes seguem uma ordem sequencial de realização. Como resultado final, deseja-se obter a elicitação e especificação dos Requisitos Não-Funcionais do Sistema Embarcado a ser desenvolvido. Os Requisitos Não-Funcionais serão documentados através através de um grafo SIG e a especificação destes requisitos através do cartão de especificação. Ressaltamos, que estas são apenas algumas diretrizes de uso, o Engenheiro de Requisitos poderá usar o catálogo da maneira que achar mais conveniente.

### 3.5 DISCUSSÃO

Nesta seção analisamos alguns pontos sobre o trabalho, Começamos justificando a construção da taxonomia antes da criação do catálogo. A taxonomia teve o papel de fornecer os principais Requisitos Não-Funcionais que são citados pela literatura e suas relações. Com isso obtivemos um conjunto de requisitos e um esquema de classificação que posteriormente foi utilizado na criação do grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG).

O *NFR Framework* foi utilizado em nosso trabalho por propor uma abordagem específica para Requisitos Não-Funcionais e ser bastante utilizado pela comunidade acadêmica, em diversos tipos de sistemas. Além disso, outro aspecto importante do *NFR Framework* é permitir uma visão clara sobre as interdependências entre os Requisitos Não-Funcionais e as correlações que definem um impacto de um Requisito Não-Funcional em outro, tais interdependências e correlações são expressadas através de um grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG).

A escolha de um cartão de especificação baseado no cartão do processo *Volere* (ROBERTSON; ROBERTSON, 2012) foi realizada por também ser um template de especificação utilizado em vários trabalhos científicos e se adequar bem à proposta de especificação definida em nossa pesquisa.

O processo de construção do catálogo NFR4ES foi definido e documentado. Foram definidas 3 fases que foram refinadas em 8 tarefas para que o objetivo fosse alcançado.

Para ilustrar os Requisitos Não-Funcionais do catálogo NFR4ES utilizamos vários sistemas. Observamos que os requisitos são bem particulares a determinados domínios, ou seja, existem requisitos que predominam em determinados tipos de sistemas. Por exemplo em um Sistema de Bomba de Infusão predominam os requisitos relacionados a segurança do tipo Safety, que determinam questões para que o sistema não cause danos ao paciente e ao seu ambiente de uso. Dessa forma, exemplificar todos os 44 requisitos do catálogo através de um sistema se tornou inviável. Portanto, para ilustrar os requisitos apresentados no catálogo utilizamos mais de um domínio: saúde e automotivo.

O catálogo NFR4ES visa oferecer uma boa cobertura dos Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados.

Esperamos que a criação deste catálogo possa contribuir com profissionais da área de Sistemas Embarcados e os auxiliem em seus projetos com eficiência.

Ressaltamos que o catálogo está em constante evolução. Não é pretensão que ele esteja completo.

Na literatura existem diversos RNFs apontados em domínios de Sistemas Embarcados que não foram incluídos no catálogo. Isto se deve ao fato que nesta dissertação só foram incluídos requisitos que fossem bem definidos. Observamos que muitos trabalhos citam Requisitos Não-Funcionais mas não os detalham, isto é, não apresentam uma definição adequada.

Como ponto fraco do trabalho podemos citar que, segundo a classificação proposta por Sommerville (2011) e apresentada na seção 2.3, o presente trabalho é focado apenas nos Requisitos Não-Funcionais de Produto. Dessa forma, não foram considerados Requisitos Não-Funcionais de Processo e Externos. Além disso nosso levantamento mesmo com interação de profissionais da área de Sistemas Embarcados foi fortemente embasado na literatura. É também sabido que em projetos de Sistemas Embarcados podem existir Requisitos Não-Funcionais bem específicos para um determinado domínio e sistema. Nestes casos, somente profissionais que atuam nesse segmento conseguem expressar e especificar com clareza estes requisitos. Portanto, é possível que vários Requisitos Não-Funcionais não tenham sido devidamente detalhados nas fontes utilizadas nesta pesquisa.

### 3.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentado inicialmente o processo de construção do nosso catálogo. Em seguida, apresentamos exemplos de sistemas embarcados nos domínios de equipamentos médicos e automotivos, os quais foram utilizados para ilustrar os requisitos do catálogo NFR4ES. Posteriormente, o catálogo foi apresentado através de um grafo SIG. Em seguida, todos os requisitos presentes no catálogo foram descritos com conceitos e exemplos. Por fim, algumas diretrizes para o uso do catálogo é apresentada. Finalizamos com uma discussão sobre aspectos do processo de desenvolvimento e uso desta catalogação.

No capítulo seguinte será apresentada a avaliação do catálogo, bem como os métodos utilizados, os objetivos da avaliação e os resultados obtidos.

## 4 AVALIAÇÃO DO CATÁLOGO NFR4ES

Neste capítulo será apresentado o processo de avaliação do catálogo proposto. Será descrito o método de avaliação, os objetivos e a análise dos resultados.

Os métodos utilizados para a avaliação da pesquisa apresentada nesta dissertação consistiram na realização de uma Prova de Conceito para um sistema embarcado e na avaliação por especialistas do domínio do catálogo NFR4ES. O processo de avaliação foi realizado através da análise dos resultados a partir de um questionário aplicado a comunidade de profissionais e acadêmicos que trabalham no domínio de Sistemas Embarcados.

O objetivo desta avaliação foi verificar com profissionais da área de Sistemas Embarcados, se o catálogo NFR4ES atende a seus objetivos de auxiliar as atividades de elicitação e especificação de Requisitos Não-Funcionais em projetos de Sistemas Embarcados. O foco da avaliação foi na relevância dos requisitos, suas definições, nas correlações apresentadas entre os Requisitos Não-Funcionais, na facilidade de entendimento, bem como na utilidade do catálogo e sua utilização e recomendação para projetos futuros.

### 4.1 PROVA DE CONCEITO

A Prova de Conceito ou PoC é um termo utilizado para caracterizar um modelo prático para provar o conceito (teórico) estabelecido por uma pesquisa ou artigo técnico. Desta forma, pode ser considerado também uma implementação completa, resumida ou incompleta, de um método ou de uma ideia, realizada com o propósito de verificar que o conceito ou teoria em questão é suscetível de ser explorado de uma maneira útil.

Nesta seção será apresentada a Prova de Conceito em dois cenários, onde o catálogo NFR4ES será aplicado para auxiliar a Elicitação e Especificação de Requisitos Não-funcionais em dois sistemas embarcados: O Sistema MAIA e o Sistema Autecla.

#### 4.1.1 Prova de Conceito 1: Sistema MAIA

O sistema trabalhado nesta Prova de Conceito é o Módulo de Aquisição de Imagens para Análise (MAIA), é um sistema embarcado desenvolvido por uma empresa pernambucana. Esta empresa colaborou como participante desta pesquisa, onde se colocou a disposição para realizarmos a elicitação e especificação do seu sistema.

A empresa é uma *startup* que utiliza visão computacional para promover o diagnóstico automatizado de doenças de forma rápida e com baixo custo. A solução para diagnósticos clínicos inclui um equipamento (*hardware*) e uma plataforma (*software*).

O Sistema Embarcado no Dispositivo MAIA, consiste em um sistema eletrônico e mecânico para aquisição de imagens de microscopia no ambiente de um laboratório básico, com a finalidade de submeter essas imagens para uma *firmware* que usa inteligência ar-

tificial, sendo capaz de diagnosticar exames parasitológicos, urianálise e hemogramas. O principal objetivo do MAIA é a aquisição automática de imagens de microscopia em lâminas com amostras de fezes, urina ou sangue e a submissão das mesmas para um serviço na nuvem que faz a análise destas.

O princípio de funcionamento do sistema é o seguinte:

1. O microscópio automatizado analisará a amostra que foi inserida pelo técnico do laboratório. Nenhum reagente ou kit específico é requerido.
2. A inteligência artificial do sistema buscará identificar os objetos, de acordo com o exame selecionado, a fim de concluir o diagnóstico.
3. O diagnóstico é disponibilizado em arquivo pdf em uma plataforma web e integrada diretamente com o *software* do laboratório.

No capítulo anterior foi apresentada uma proposta de uso do catálogo NFR4ES. Para a realização da Prova de Conceito serão seguidas as diretrizes sugeridas na proposta. O processo foi executado pelo autor, com informações obtidas pós-morte<sup>1</sup> através da aplicação de um questionário. O questionário aplicado para coletar os requisitos do sistema é apresentado no APÊNDICE D

#### 4.1.2 Instanciação do catálogo NFR4ES - Prova de Conceito 1

**1ª Diretriz - Definição dos requisitos:** Nesta etapa foi definido com base no catálogo quais os requisitos que serão aplicados no sistema. Para isso, foi realizada a aplicação de um questionário com o Engenheiro de Hardware da empresa, onde este instrumento foi constituído de perguntas que abordaram todos os Requisitos Não-Funcionais presentes no catálogo NFR4Es. O questionário foi enviado ao engenheiro via *e-mail* e após sua resolução devolvido para o autor. As respostas obtidas a partir do questionário foram textuais e utilizadas como base para a construção do SIG. Este questionário é apresentado no APÊNDICE D. Com o resultado deste questionário foi possível identificar os Requisitos Não-Funcionais do sistema e a criação dos catálogos. Um trecho do questionário que evidencia as respostas do engenheiro de hardware é apresentado no APÊNDICE F.

Definimos como Requisitos não funcionais que devem ser elicitados no projeto, os requisitos de: confiabilidade (tolerância a falhas), desempenho (time-out, delay e tempo de resposta), estrutura física (dimensões, peso, formato, durabilidade, facilidade de transporte, temperatura e impermeável), manutenibilidade, segurança-*safety* (prevenção de perigos, registro de eventos), segurança-*security* (identificação do usuário, acesso seguro a rede, comunicação segura, armazenamento seguro, resistência a violação e privacidade).

---

<sup>1</sup> post-mortem : consiste na aplicação de um abordagem em um sistema já existente.

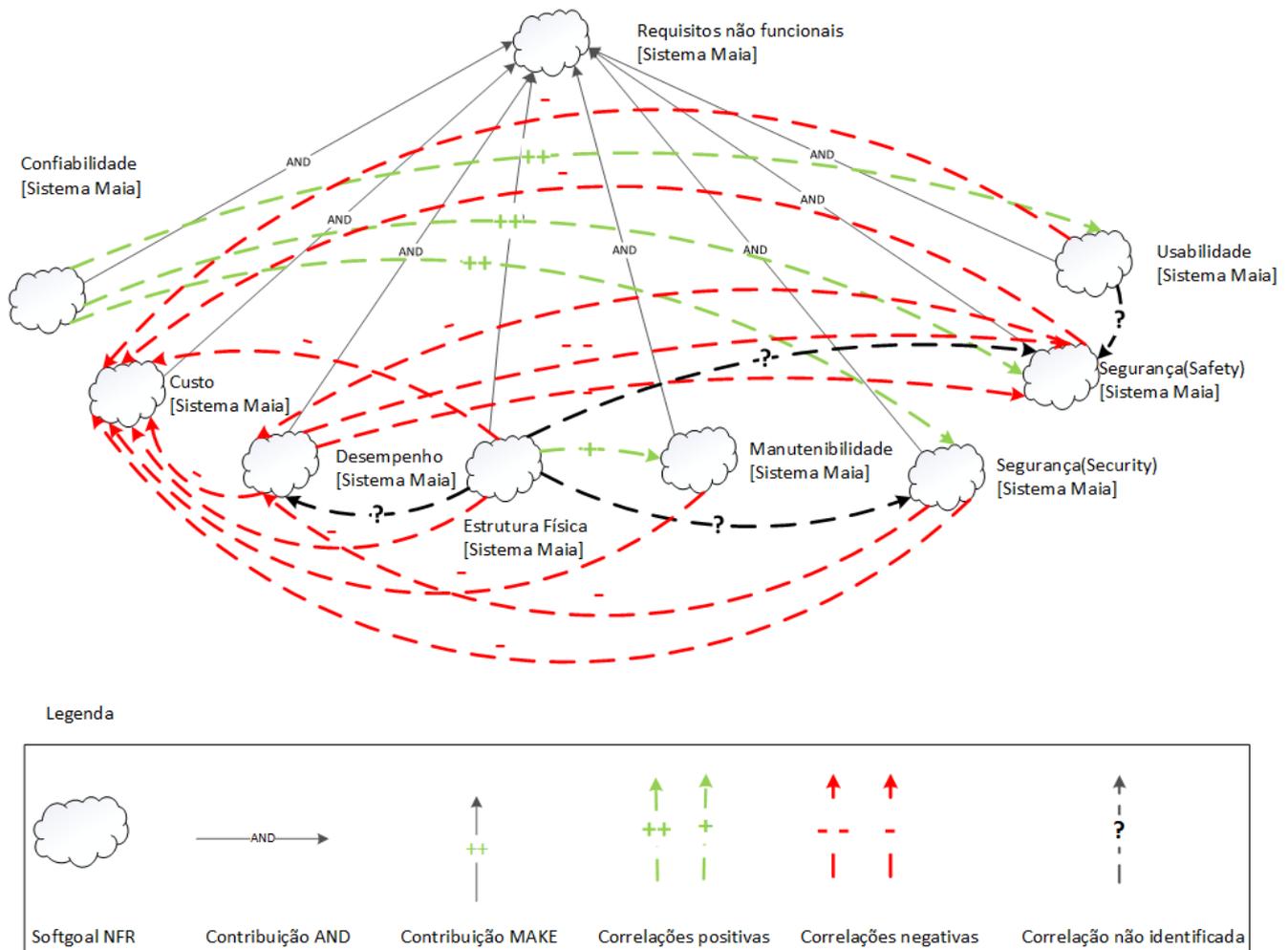
**2ª Diretriz - Construção:** Nesta etapa, já com todos os Requisitos Não-Funcionais identificados para o sistema, realizamos a construção do grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG).

A seguir será apresentado o Grafo SIG do sistema MAIA, incluindo as suas operacionalizações. Devido ao seu tamanho, ele será apresentado por partes para uma melhor visualização, através das Figuras 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75.

### • Requisitos Não Funcionais - Sistema Maia com Correlações

A figura 67 apresenta os Requisitos Não-Funcionais do primeiro nível na hierarquia do Catálogo NFR4Es que foram identificados para a construção do grafo Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) do Sistema MAIA. Neste SIG são apresentadas as correlações dos Requisitos Não-Funcionais envolvidos no sistema.

Figura 67 – Grafo SIG do Sistema Maia - Com Correlações



Fonte: Próprio Autor

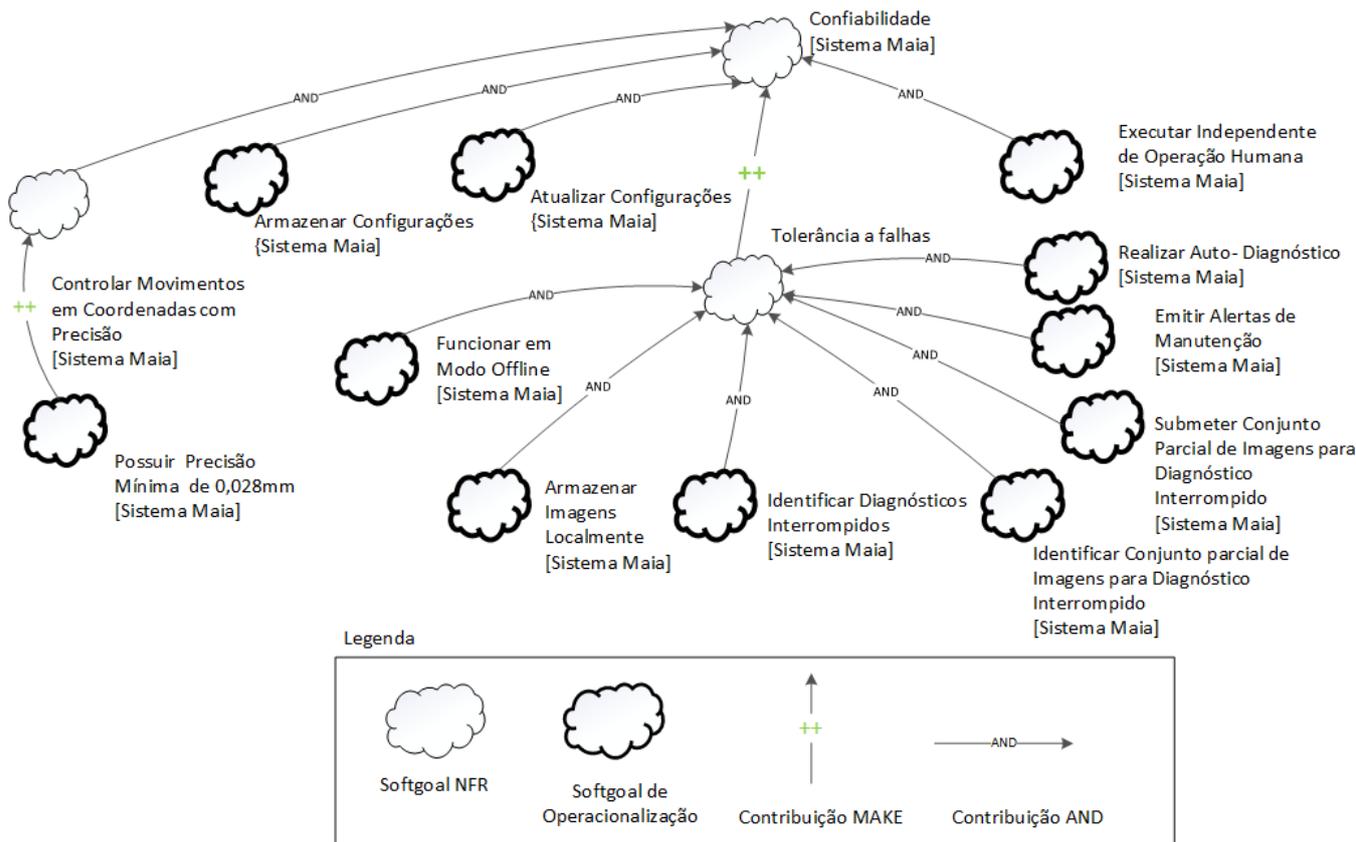
Na Figura 67 é apresentado o grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) com os Requisitos Não-Funcionais Confiabilidade,

Custo, Desempenho, Estrutura Física, Manutenibilidade, Segurança (*Safety*), Segurança (*Security*) e Usabilidade. Neste SIG são apresentadas as correlações entre esses Requisitos Não-Funcionais, ou seja, o impacto positivo, negativo ou não identificado que um Requisito Não-Funcional pode causar em outro Requisito Não-Funcional. A seguir são apresentados os refinamentos de cada Requisito Não-Funcional do sistema.

### • Confiabilidade

A figura 68 apresenta os *softgoals* e operacionalizações para o sistema MAIA em relação a aspectos de Confiabilidade e Tolerância a falhas. Tolerância a falhas apresenta um softgoal NFR e seis operacionalizações que expressam como tratar aspectos relacionados a falhas que podem ocorrer no uso do sistema. A construção do grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) é baseada na seção 3.3.1 (ver Figura 21)

Figura 68 – Confiabilidade - Refinamentos e Operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

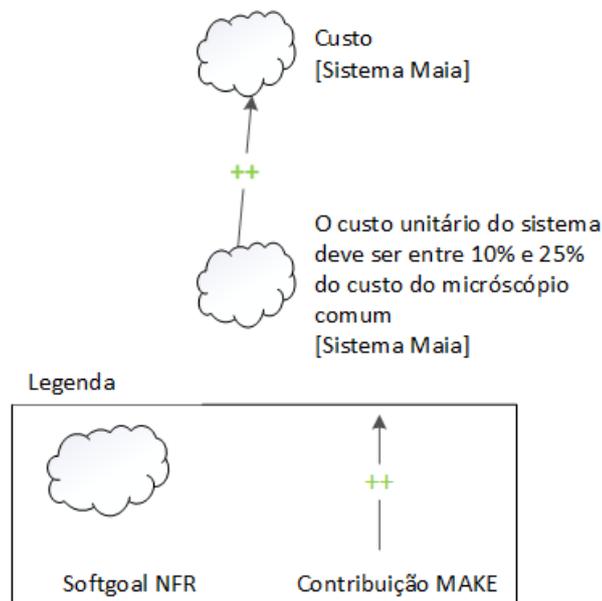
A figura 68 apresenta o Requisito Não-Funcional **Controlar Movimentos em Coordenadas com Precisão** que foi instanciado a partir do Requisito Não-Funcional **Confiabilidade**, e possui uma operacionalização **Possuir Precisão Mínima de 0,028 mm**, que visa tratar este aspecto. O Requisito **Confiabilidade** possui três

operacionalizações que expressam aspectos de Confiabilidade necessários para o Sistema MAIA, tais como: **Armazenar Configurações**, **Atualizar Configurações** e **Executar Independente de Operação Humana**. Além disso o Requisito Não-Funcional **Tolerância a Falhas** apresenta sete operacionalizações com o propósito de garantir que este Requisito Não-Funcional seja tratado. As operacionalizações para este Requisito Não-Funcional são: **Funcionar em Modo Offline**, **Armazenar Imagens Localmente**, **Identificar Diagnósticos Interrompidos**, **Identificar Conjunto Parcial de imagens para Diagnóstico Interrompido**, **Submeter Conjunto Parcial de Imagens para Diagnóstico Interrompido**, **Emitir Alertas de Manutenção**, e **Realizar Auto-Diagnóstico**. Dessa forma, foram reutilizados os Requisitos Confiabilidade e Tolerância a Falhas e novos Requisitos Não-Funcionais foram criados a partir de seus refinamentos e operacionalizações.

- **Custo**

A figura 69 apresenta o Requisito Não-Funcional Custo e um refinamento para este softgoal. A construção do grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) é baseada na seção 3.3.2 (Ver Figura 25)

Figura 69 – Custo - Refinamentos



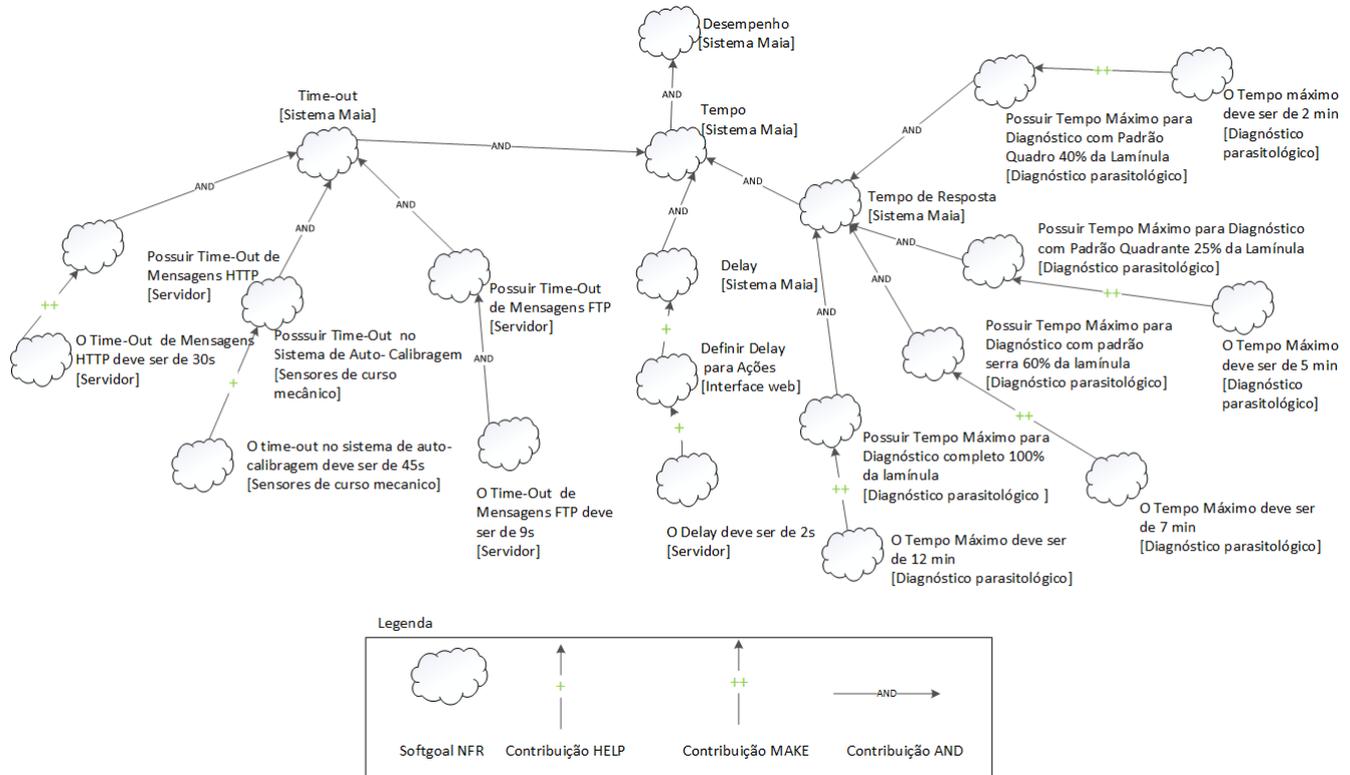
Fonte: Próprio Autor

NA figura 69 é apresentado o Requisito Não-Funcional Custo através de um *softgoal NFR*. O Requisito Não-Funcional **Custo** apresenta como refinamento o Requisito Não-Funcional **O Custo do Sistema deve ser entre 10% e 25% do custo do microscópio comum**. Dessa forma, o Requisito Não-Funcional Custo foi reutilizado e um novo Requisito Não-Funcional foi criado a partir do seu refinamento.

## • Desempenho

A figura 70 apresenta os Requisitos Não-Funcionais relacionados aos aspectos de Desempenho do sistema. Eles são baseados na seção 3.3.4 (Ver Figura 27) e instanciados para construção do SIG de Desempenho do Sistema Maia.

Figura 70 – Desempenho - Refinamentos



Fonte: Próprio Autor

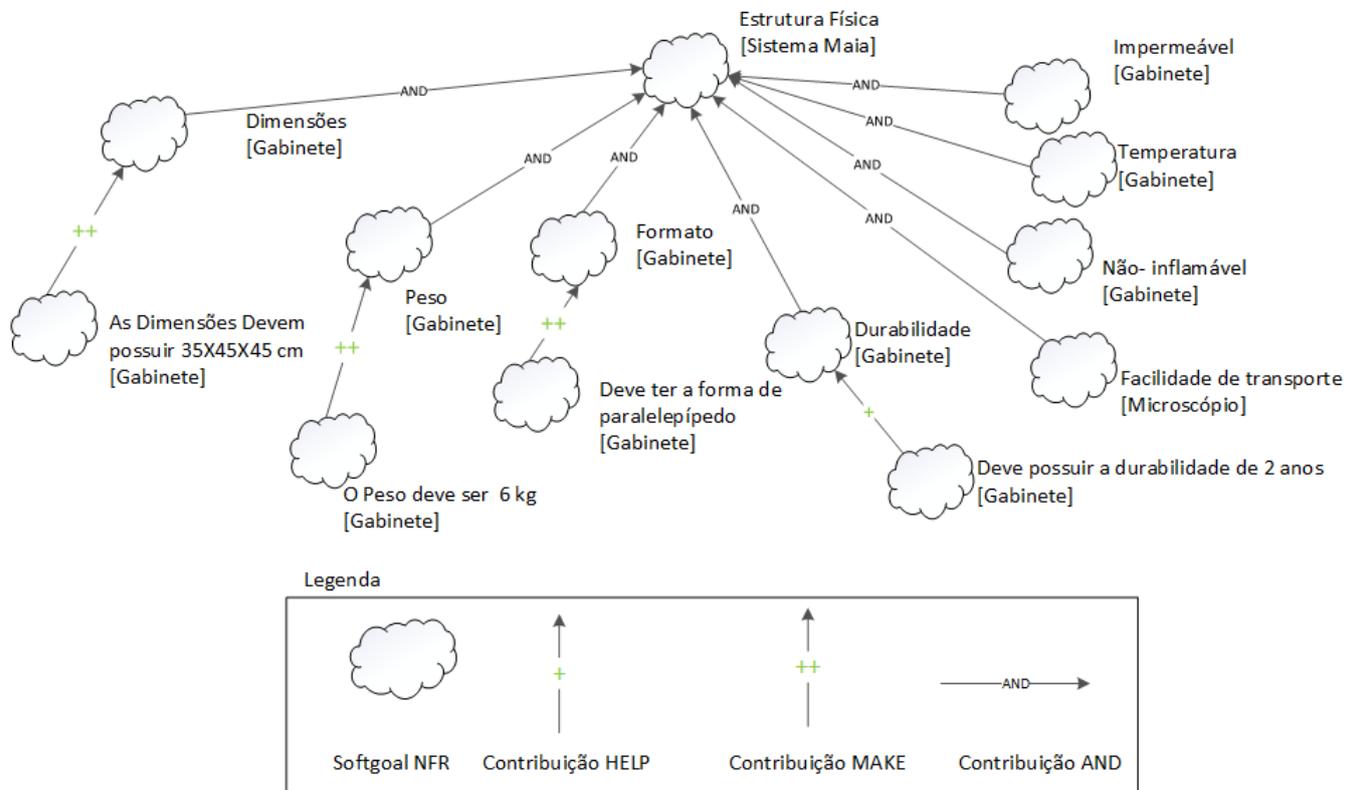
Na Figura 70, O grafo Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) apresenta os Requisitos Não-Funcionais relacionados ao Desempenho do Sistema Maia através de *softgoals NFR*. Estes Requisitos Não-Funcionais são: **Tempo**, **Time-Out**, **Delay** e **Tempo de Resposta**. O Requisito Não-Funcional **Tempo** apresenta três refinamentos que são: **Time-Out**, **Delay** e **Tempo de Resposta**. O Requisito Não-Funcional **Time-Out** possui três refinamentos **Possuir Time Out de mensagens HTTP** (Refinado no Requisito Não-Funcional "Time-out de Mensagem HTTP deve ser de 30s"), **Possuir Time Out no Sistema de Auto-Calibragem** (Refinado no Requisito Não-Funcional "Time-Out no Sistema de Auto-Calibragem deve ser de 45s"), **Possuir Time-Out de Mensagens FTP** (Refinado no Requisito Não-Funcional "Time-Out de Mensagens FTP deve ser de 30s"). O Requisito Não-Funcional **Delay** possui o Refinamento **Definir Delay para Ações** (Refinado no Requisito Não-Funcional "Delay deve ser de 3s"). O Requisito Não-Funcional **Tempo de Resposta** possui quatro refinamentos que são: **Possuir Tempo Máximo para Diagnóstico Completo 100% da Laminula** (Refinado no Requisito Não-Funcional "O Tempo Máximo deve ser de 2s"), **Possuir Tempo**

Máximo para Diagnóstico com padrão serra 60% da lamínula (Refinado no Requisito Não-Funcional "O Tempo Máximo deve ser de 5 min"), **Possuir Tempo Máximo para Diagnóstico com Padrão Quadrante 25% da Lamínula** (Refinado no Requisito Não-Funcional "O Tempo Máximo deve ser de 5 min"), **Possuir Tempo Máximo para Diagnóstico com Padrão Quadro 40% da Lamínula** (Refinado no Requisito Não-Funcional "O Tempo máximo deve ser de 2 min"). Dessa forma, foram reutilizados os Requisitos Desempenho, *Time-Out*, *Delay* e Tempo de Resposta e novos Requisitos Não-Funcionais foram criados a partir de seus refinamentos.

### • Estrutura Física

A figura 71 apresenta os *softgoals* relacionados a Estrutura Física do Sistema Maia. Assim, são mostrados os *softgoals* **Dimensões**, **Peso**, **Formato**, e **Durabilidade** com seus refinamentos. Além disso, também são apresentados os *softgoals* **Facilidade de transporte**, **Não-inflamável**, **Temperatura**, e **impermeável**. Eles são baseados na seção 3.3.5 (Ver Figura 35) e instanciados para construção do SIG de Desempenho do Sistema Maia.

Figura 71 – Estrutura Física - Refinamentos



Fonte: Próprio Autor

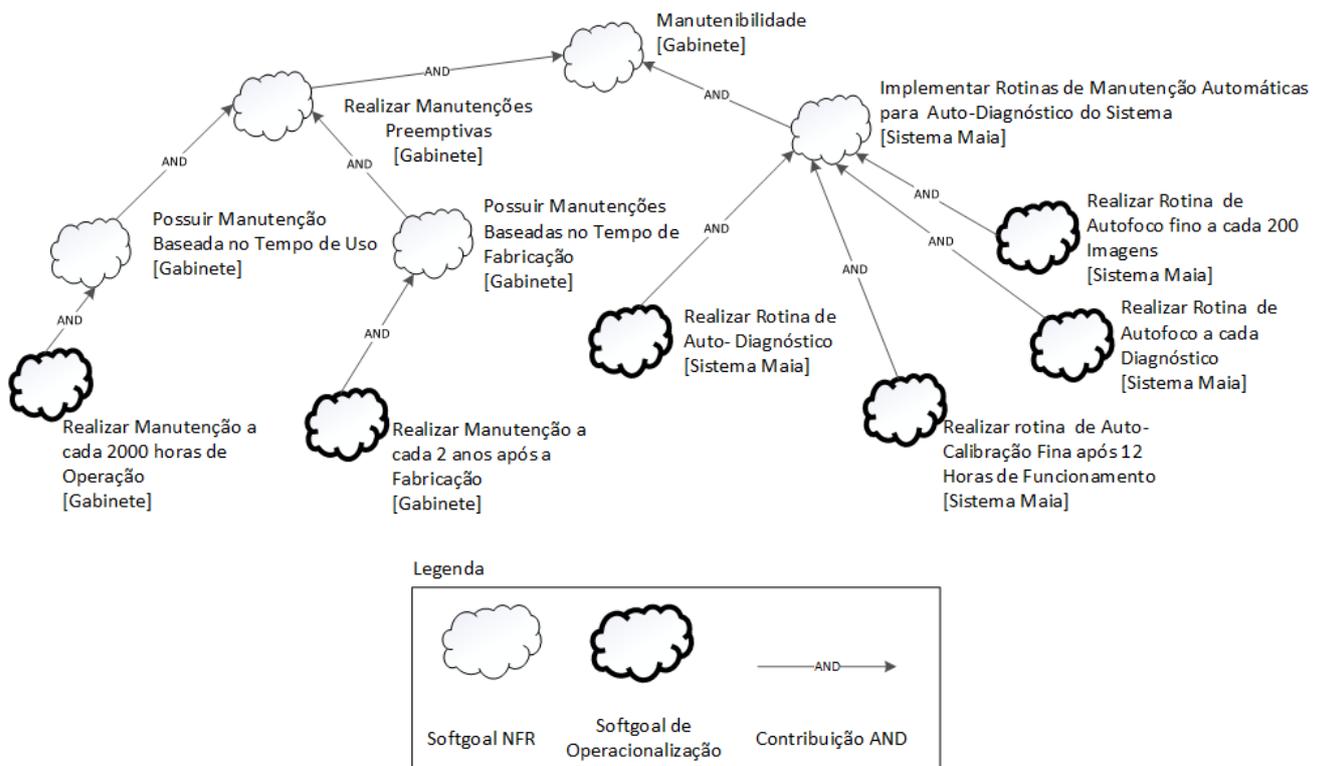
Na Figura 71 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais que abordam os aspectos relacionados a Estrutura Física do Sistema MAIA através de um SIG. São

apresentados os **Dimensões** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "As Dimensões Devem possuir 35X45X45 cm"), **Peso** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "O Peso deve ser 6 kg", **Formato** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "Deve ter a forma de paralelepípedo", **Durabilidade** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "Deve possuir a durabilidade de 2 anos"), **Facilidade de Transporte**, **Não-Inflamável**, **Temperatura** e **Impermeável**. Com a aplicação do Catálogo NFR4Es surgiram 4 Requisitos Não-Funcionais com a instanciação dos Requisitos Não-Funcionais **Dimensões**, **Peso**, **Formato**, **Durabilidade**. Além disso os Requisitos **Facilidade de Transporte**, **Não Inflamável**, **Temperatura** e **Impermeável** foram reutilizados.

### • Manutenibilidade

A figura 72 apresenta os Requisitos Não-Funcionais de Manutenibilidade do Sistema MAIA através de um grafo Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG). Este grafo é baseado na seção 3.3.6 (Ver Figura 45) e apresenta o *softgoal* **Realizar Manutenções preemptivas** com seus refinamentos e operacionalizações, e o *softgoal* **Implementar Rotinas de Manutenção Automáticas para Auto-Diagnóstico do Sistema** com suas operacionalizações.

Figura 72 – Manutenibilidade - Refinamentos e Operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

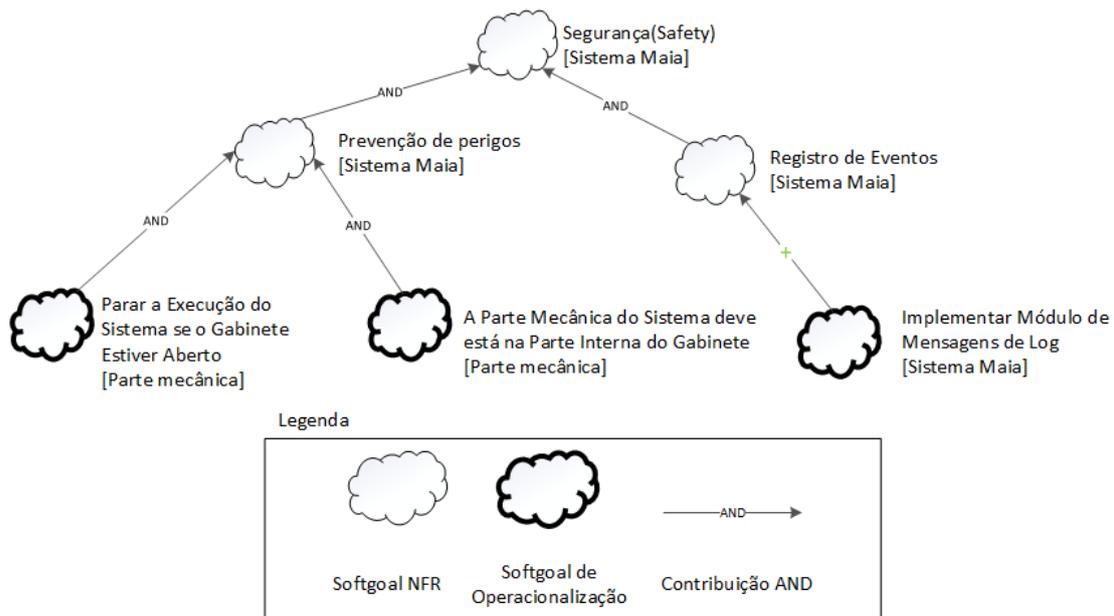
Na Figura 72 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais que tratam as questões relacionadas a Manutenibilidade do Sistema Maia. O *softgoal* **Manutenibilidade**

foi refinado nos softgoals **Realizar Manutenções preemptivas** e **Implementar Rotinas de Manutenção Automáticas para Auto-Diagnóstico do Sistema**. O softgoal **Realizar Manutenções preemptivas** foi refinado nos *softgoals* **Possuir manutenção baseada no tempo de uso** e **Possuir manutenções baseadas no tempo de fabricação**. O *softgoal* **Possuir manutenção baseada no tempo de uso** possui a operacionalização **Realizar manutenção a cada 2000 horas de operação** e o *softgoal* **Possuir manutenções baseadas no tempo de fabricação**. O *softgoal* **Implementar Rotinas de Manutenção Automáticas para Auto-Diagnóstico do Sistema** possui 4 operacionalizações que são: **Realizar Rotina de Auto-Diagnóstico**, **Realizar rotina de auto-calibração fina após 12 horas de funcionamento**, **Realizar Rotina de Autofoco a cada Diagnóstico**, **Realizar Rotina de Autofoco fino a cada 200 Imagens**. Portanto, o Requisito Não Funcional Manutenibilidade foi instanciado criando novos requisitos através de 3 refinamentos e 6 operacionalizações.

- **Segurança (*Safety*)**

A Figura 73 apresenta os Requisitos Não-Funcionais de Segurança(Safety) do Sistema MAIA através de um grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG). Este gráfico é baseado na seção 3.3.8 (Ver Figura 49) e apresenta o *softgoal* **Prevenção de Perigos**, que possui duas operacionalizações e o *softgoal* **Registro de Eventos** que possui uma operacionalização.

Figura 73 – Segurança (*Safety*) - Refinamentos e Operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

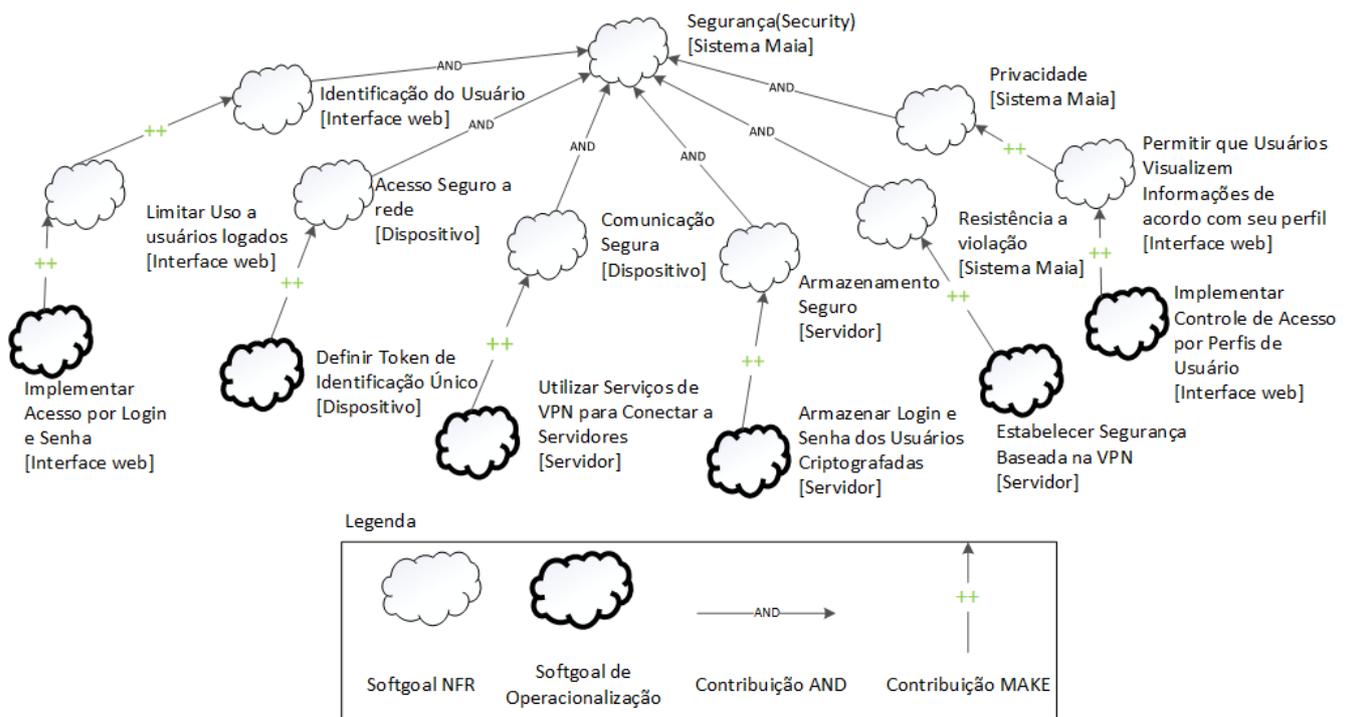
Na figura 73 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais que abordam a Segurança(safety) do Sistema MAIA. O Requisito Segurança(safety) é refinado nos soft-

goals Prevenção de Perigos e Registro de Eventos. O Softgoal Prevenção de Perigo possui duas operacionalizações **Parar a Execução do Sistema se o Gabinete Estiver Aberto, A Parte Mecânica do Sistema deve está na Parte Interna do Gabinete**. O softgoal **Registro de Eventos** apresenta uma operacionalização **Implementar Módulo de Mensagens de Log**.

- **Segurança (*Security*)**

A figura 74 um grafo de Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG) para segurança (Security). O grafo SIG é baseado na seção 3.3.9 (Ver Figura 52) e apresenta os Requisitos Não-Funcionais **Identificação do Usuário**, **Acesso Seguro a Rede**, **Comunicação Segura**, **Armazenamento Seguro**, **Resistência a Violação**, e **Privacidade** com seus refinamentos e operacionalizações.

Figura 74 – Segurança(*Security*) - Refinamentos e Operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

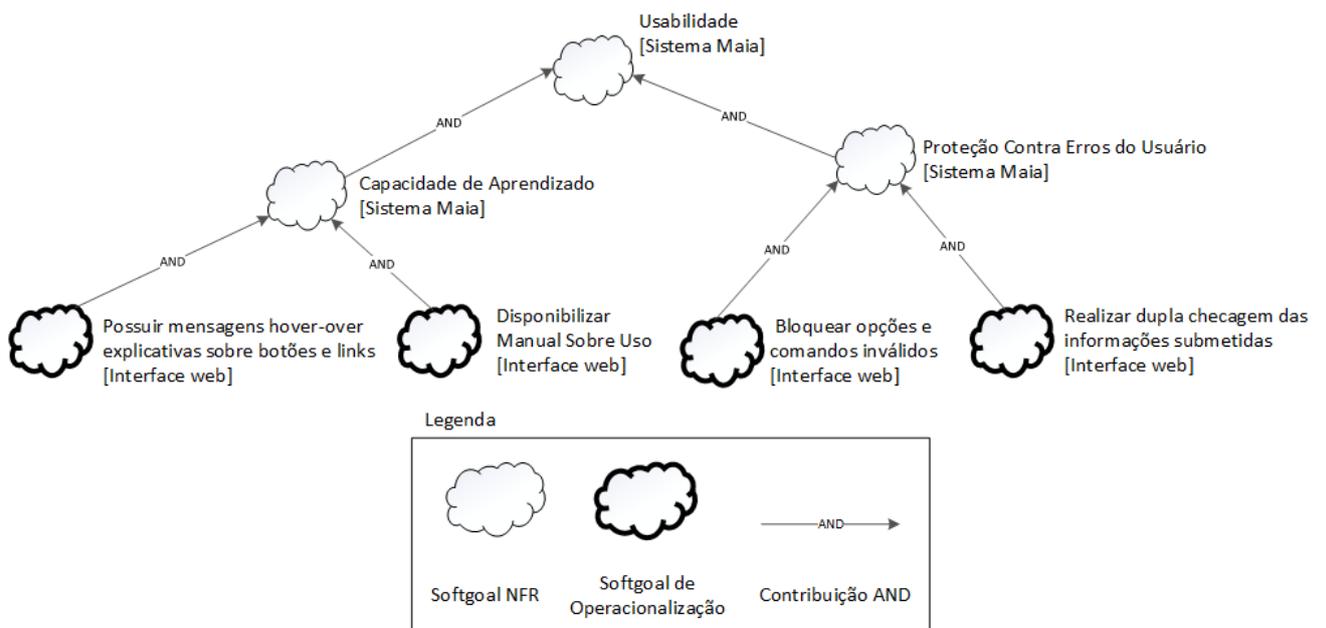
Na Figura 74 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais que tratam os aspectos de segurança(security) do Sistema MAIA. O Requisito Segurança(security) é refinado nos Requisitos Não-Funcionais **Identificação do Usuário**(Refinado para o softgoal "Limitar Uso a Usuários Logados"que possui uma operacionalização "Implementar acesso por Login e Senha") , **Acesso Seguro a Rede**(Possui uma operacionalização "Definir *Token* de Identificação Único", **Comunicação Segura**(Possui uma operacionalização "Utilizar Serviços de VPN para Conectar a Servidores"), **Armazenamento Seguro**(Possui uma operacionalização "Armazenar Login e Senha Criptografados", **Resistência a Violação** (Possui uma operacionalização Imple-

mentar Controle de Acesso por Perfis do Usuário), e **Privacidade**(Refinado para o softgoal "Permitir que Usuários Visualizem Informações de acordo com seu Perfil"que possui uma operacionalização "Implementar Controle de Acesso por Perfis de Usuário"). Dessa forma, novos Requisitos Não-Funcionais criados a partir das operacionalizações dos Requisitos Não-Funcionais Acesso Seguro a Rede, Comunicação Segura, Armazenamento Seguro, Resistência a Violação Privacidade e a partir dos refinamentos dos Requisitos Não-Funcionais Identificação do Usuário e Privacidade.

### • Usabilidade

A figura 75 apresenta os softgoals que definem a Usabilidade do Sistema MAIA. Eles são baseados na seção 3.3.10 (Ver Figura 61). São apresentados os softgoals Proteção contra erros de usuário, e Capacidade de Aprendizado, bem como suas operacionalizações.

Figura 75 – Usabilidade - Refinamentos e Operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 75 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais relacionados a Usabilidade do Sistema Maia através de um grafo Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG). O Requisito Usabilidade é Refinado em Capacidade de Aprendizado e Proteção Contra Erros do Usuário. O softgoal NFR **Capacidade de Aprendizado** possui as operacionalizações "Possuir Mensagens Hover-over explicativas sobre botões e links" e "Disponibilizar Manual Sobre Uso". O Softgoal **Proteção Contra Erros do Usuário** possui as operacionalizações "Bloquear opções e comandos inválidos" e "Realizar dupla checagem das informações submetidas". Portanto, os Requisitos Não Funcionais Usabilidade , Capacidade de Aprendizado e Proteção Contra Erros do Usuário foram reutilizados. Foram criados 4 novos Requisitos Não-Funcionais a partir das

operacionalizações dos Requisitos Não-Funcionais Capacidade de Aprendizado e Proteção Contra Erros do Usuário.

**3ª Diretriz - Criação dos cartões de especificação:** nesta etapa foi realizada a criação dos cartões de especificação com o detalhamento dos requisitos.

Por questões relacionadas a confidencialidade e por se tratar de um produto inovador, não estão incluído todos os cartões de especificação do sistema MAIA. A seguir apresentamos um exemplo apenas para ilustrar como foi esta especificação.

Figura 76 – Requisito não funcional: Temperatura

Cartão de Especificação			
<b>Nr Requisito:</b>	1	<b>Classificação</b>	Estrutura Física/Temperatura
<b>Descrição:</b>	Temperatura de funcionamento - O sistema Maia deve operar dentro de uma faixa específica de temperatura		
<b>Justificativa:</b>	O super aquecimento do sistema pode prejudicar o seu funcionamento e seus componentes		
<b>Origem do requisito:</b>	Projetista de Hardware do Sistema Maia		
<b>Critério de aceitação:</b>	O sistema deve operar com uma temperatura interna de funcionamento entre 10 e 35 graus Celsius		
<b>Dependências:</b>	Nenhum		
<b>Prioridade:</b>	9		
<b>Conflitos:</b>	Nenhum		
<b>História:</b>	10/12/2018		

Fonte: Próprio Autor

A Figura 76 apresenta o Requisito Não- Funcional Temperatura. Este requisito define em faixa de temperatura que o sistema deve operar.

#### 4.1.3 Resultados e Discussão - Prova de Conceito 1

A elicitação e especificação de requisitos do sistema MAIA já havia sido realizada previamente pelo Engenheiro de Hardware da empresa, que forneceu essas informações para que o autor desta Dissertação construísse os SIG com base no catálogo NFR4ES. Após a construção dos catálogos eles foram devidamente validados com o engenheiro de hardware. Em seguida, após a instanciação do catálogo, foram feitas algumas perguntas ao Engenheiro de Hardware que participou da elicitação dos requisitos, onde ele fez considerações sobre o uso do catálogo. A perguntas foram enviadas para o engenheiro de hardware através de um questionário enviado via email, onde foram respondidas e re-enviadas para o autor. As perguntas e respostas do questionário aplicado são apresentadas a seguir.

- **O catálogo ajudou na elicitação dos requisitos não funcionais relevantes para o projeto?**

- 
- Consultar o catalogo foi um exercício interessante para avaliar se algum desses pontos não estavam sendo previstos.
  - **O catálogo apresentou uma boa abrangência em relação aos RNFs e atendeu as necessidades do projeto?**
    - Sim, não senti falta de nenhum RNF que não tenha sido contemplado.
  - **O catálogo apresentou Requisitos Não-Funcionais que você ainda não tinha aplicado em projetos de embarcados**
    - Não
  - **Houve dificuldade na utilização do catálogo?**
    - Nenhuma
  - **Nas necessidades do projeto, houveram requisitos que não foram apresentados no catálogo e tiveram a necessidade de serem especificados? Quais?**
    - Não

Com a aplicação desta Prova de Conceito, observamos que nossa abordagem se mostrou útil na elicitación dos requisitos. O catálogo NFR4ES conseguiu cobrir de forma eficiente os requisitos Não-Funcionais do sistema MAIA abrangendo muito Requisitos Não-Funcionais do projeto. Com ele podemos elicitar alguns dos Requisitos Não-Funcionais do projeto. O autor apresentou ao Engenheiro de Hardware da empresa que participou desta Prova de Conceito a notação do NFR Framework proposta por (CHUNG et al., 2000). Dessa forma, o Engenheiro de Hardware da empresa validou os artefatos finais gerados, ou seja, os catálogos SIG. Ele afirmou que os catálogos gerados conseguiram expressar bem a realidade do projeto e ilustrar de forma simples os Requisitos Não-Funcionais do sistema. Além disso, na visão dele, o cartão de especificação contempla as principais informações que devem ser especificadas para o projeto.

#### **4.1.4 Prova de Conceito 2: Sistema Autecla**

O Sistema embarcado Autecla foi criado para auxiliar no tratamento de crianças autistas. Este sistema foi desenvolvido por alunas do CIn-UFPE com apoio de uma fundação filantrópica de Recife-PE. Esta fundação tem como missão: promover a saúde, contribuir para a inclusão social dos pacientes e fomentar o ensino e a pesquisa científica.

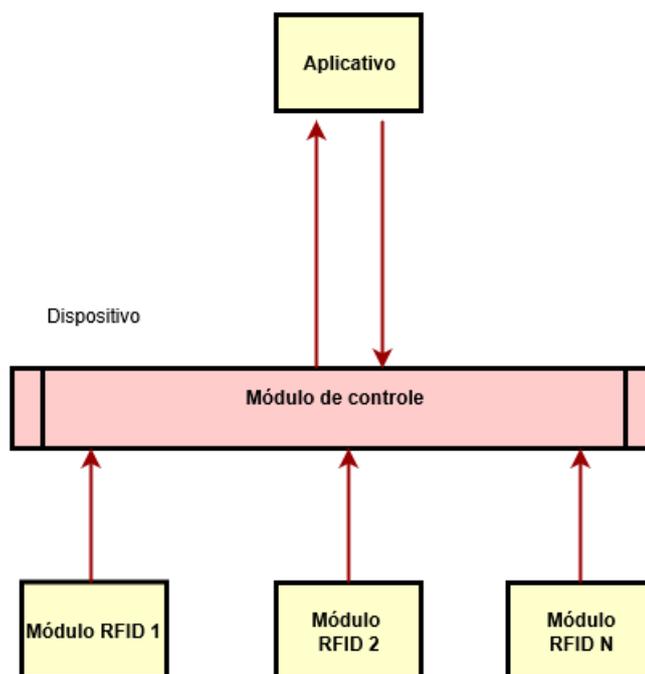
O Transtorno do Espectro Autista (TEA) envolve vários distúrbios marcantes que afetam habilidades de fala e interação social. Crianças com autismo frequentemente enfrentam obstáculos na interação social, apresentando aversão ao contato visual, dificuldade de

concentração, de conversar sobre seus sentimentos, ou entender os sentimentos de outros e resistência a contato físico.

Existem alguns tratamentos terapêuticos que são utilizados atualmente para ajudar as crianças com esses obstáculos, como: Picture Exchange Communication System (PECS) - Comunicação através de Figuras, Applied Behavior Analysis (ABA) - Análise Aplicada do Comportamento e o Treatment and Education of Autistic and related Communication handicapped Children (TEACCH) - Tratamento e Educação para Autistas e Crianças com Deficiências Relacionadas à Comunicação. Desta forma o sistema Autecla foi desenvolvido com o intuito de ajudar na assistência a crianças autistas integrando atividades usadas nesses tratamentos com a tecnologia, automatizando estas atividade, facilitando o assessoramento do médico e na continuação dos estímulos feitos no consultório em casa junto com o apoio dos pais.

O sistema Autecla é dividido em duas partes: um aplicativo para celular e um dispositivo embarcado. No dispositivo, temos dois tipos de módulos diferentes, o módulo de controle e o módulo de leitores de tags RFID.

Figura 77 – Princípio de funcionamento do sistema Autecla



Fonte: Imagem fornecida pelos desenvolvedores do projeto

A figura 77 apresenta o princípio de funcionamento do sistema, onde as setas representam a comunicação entre o aplicativo, o módulo de controle, e os módulos RFID. A seguir, os elementos importantes para esta comunicação são apresentados.

- **Tag:** as Tags são os cartões com figuras utilizadas no tratamento. Cada tag possui um identificador único, com isso sabemos suas figuras correspondentes.

- **Módulo RFID ou Módulo de Leitores:** o Módulo RFID irá cumprir a função de leitura das tags, onde cada tag representa uma figura associada ao tratamento terapêutico. Ele lê a tag e envia o código identificador desta tag para o módulo de controle. O sistema pode possuir até 6 módulos de leitores.
- **Módulo de controle:** o Módulo de Controle recebe os códigos identificadores da tag que foi colocada pela criança. E irá armazenar todas as tags utilizadas na atividade. Ao fim da atividade, este módulo vai processar estes dados de acordo com a atividade que foi escolhida. E as informações acerca da atividade (como tempo de duração da atividade, acertos, erros, quantidade de cartas, etc.) são enviadas por *bluetooth* para o celular dos pais ou médicos, gerando assim o histórico de atividades da criança.

#### 4.1.5 Instanciação do catálogo NFR4ES - Prova de Conceito 2

**1ª Etapa - Definição dos requisitos:** Nesta etapa serão definidos, com base no catálogo, os requisitos que serão aplicados no sistema.

Definimos como requisitos não funcionais que devem ser elicitados no projeto, os requisitos de: confiabilidade, consumo de energia, custo, desempenho (tempo de resposta, consumo de recursos), estrutura física (dimensões, peso, formato, durabilidade, facilidade de transporte, temperatura e impermeável, compatibilidade eletromagnética), manutenibilidade, segurança-*safety* (prevenção de perigos), segurança-*security* (identificação do usuário, acesso seguro a rede, comunicação segura, armazenamento seguro, disponibilidade, segurança de conteúdo, privacidade), usabilidade (capacidade de aprendizado, intuitivo, proteção contra erros do usuário e satisfação do usuário).

**2ª Etapa - Construção:** Nesta etapa, com os requisitos não-funcionais identificados para o sistema, é realizada a construção do SIG.

A seguir será apresentado o Grafo SIG do sistema Autecla, incluindo as suas operacionalizações. Devido ao seu tamanho, ele será apresentado por partes para uma melhor visualização, através das Figuras 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86

- **Requisitos Não Funcionais - Sistema Autecla com Correlações**

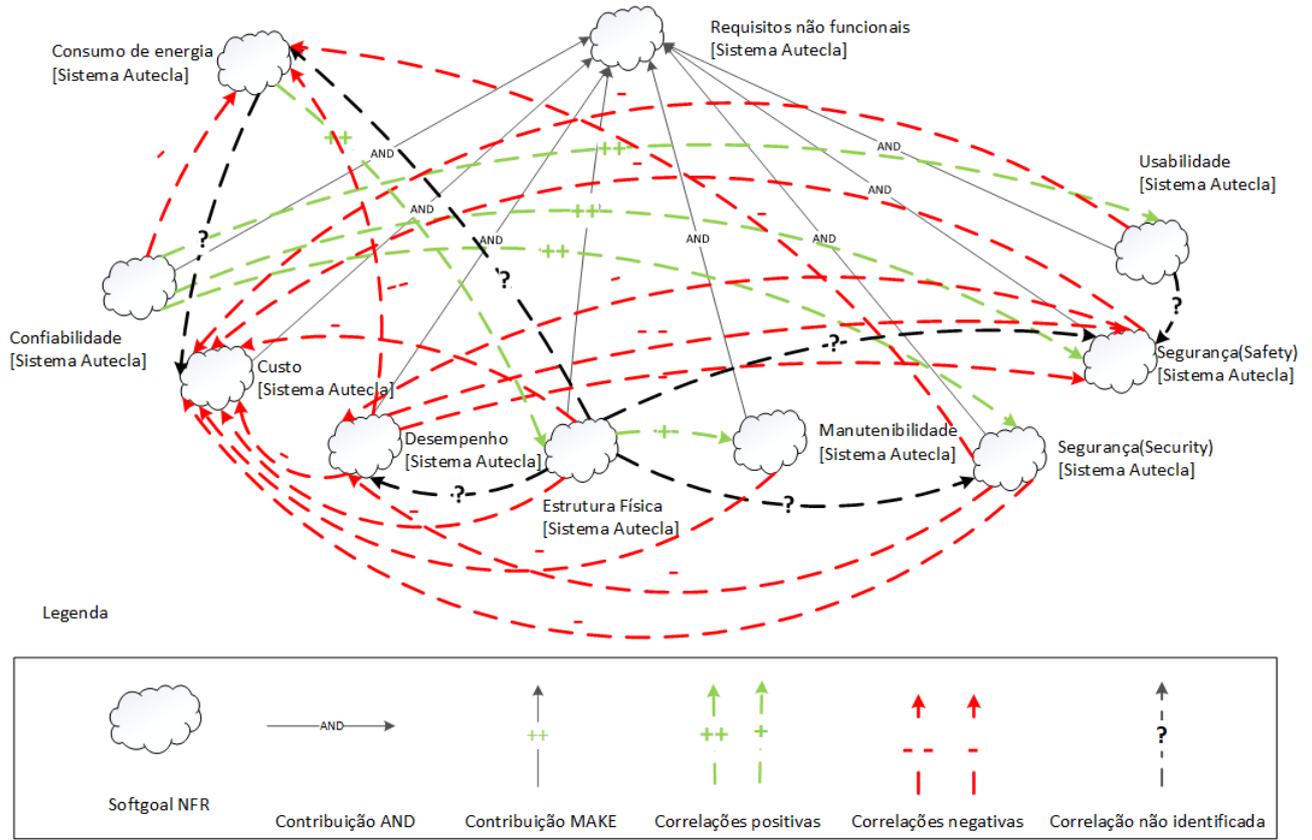
A figura 78 apresenta os requisitos os requisito no primeiro nível na hierarquia do SIG, neste SIG são apresentadas as correlações dos requisitos envolvidos no sistema.

A seguir são apresentados os refinamentos específicos de cada requisito não-funcional do sistema.

- **Confiabilidade**

A figura 79 apresenta 3 *softgoals* NFR que tratam requisitos não-funcionais relacionados a confiabilidade e devem ser levados em consideração no projeto. A construção

Figura 78 – RNFs utilizados para o sistema Autecla - correlações



Fonte: Próprio Autor

do grafo de Interdependência de Softgoal - Softgoal Interdependency Graph (SIG) é baseada na seção 3.3.1 (ver Figura 21)

A figura 79 apresenta os Requisitos Não-Funcionais **Precisão na leitura das tags RFID** e **Transmissão confiável de dados entre dispositivo e aplicativo** que foram instanciados a partir do Requisito Não-Funcional Confiabilidade. Dessa forma, o Requisito Não-Funcional Confiabilidade foi reutilizado e novos Requisitos Não-Funcionais foram criados a partir de seus refinamentos.

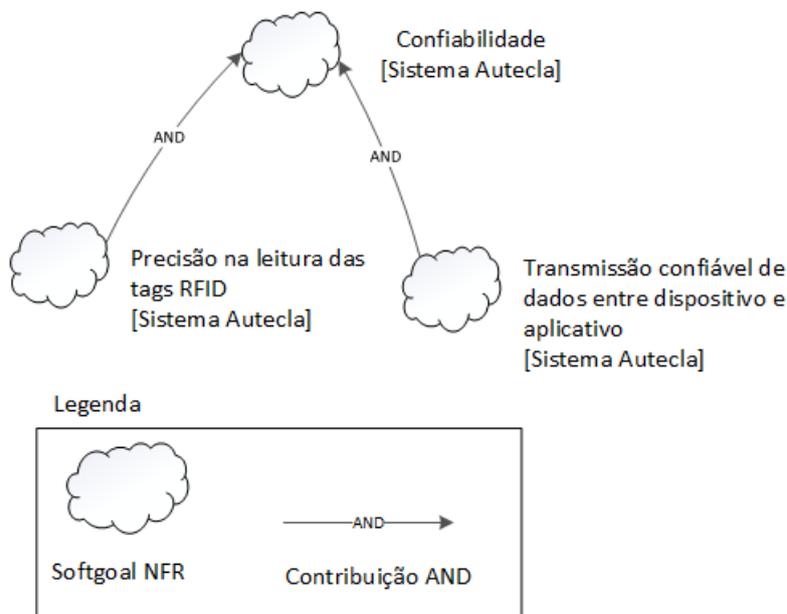
- **Custo**

A figura 80 apresenta o Requisito Não-Funcional Custo e um refinamento para este softgoal. A construção do grafo de Interdependência de Softgoal - Softgoal Interdependency Graph (SIG) é baseada na seção 3.3.2 (Ver Figura 25)

A figura 80 apresenta o Requisito Não-Funcional **Desenvolver um produto com baixo custo para atender público alvo** que foi instanciado a partir do Requisito Não-Funcional **Custo**. Portanto, o Requisito Não-Funcional **Custo** foi reutilizado e um novo Requisito Não-Funcional foi criado a partir de um refinamento.

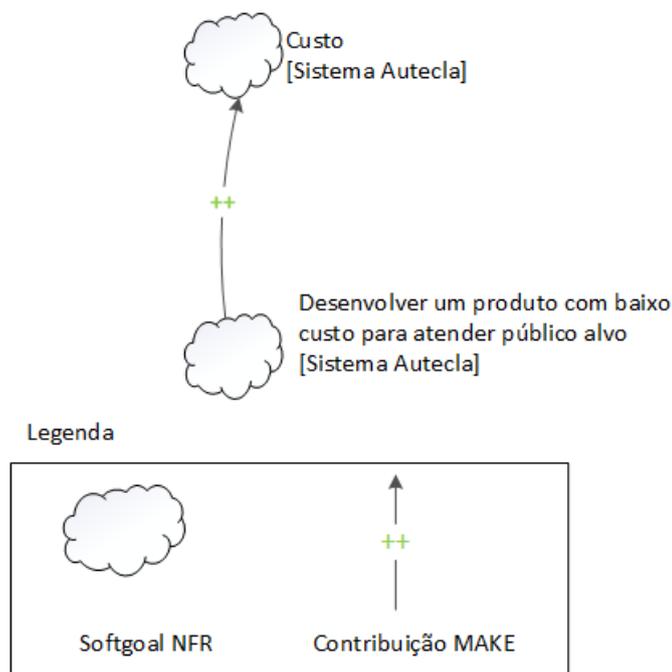
- **Desempenho**

Figura 79 – Confiabilidade - Refinamentos e Operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

Figura 80 – Custo - contribuições e operacionalizações

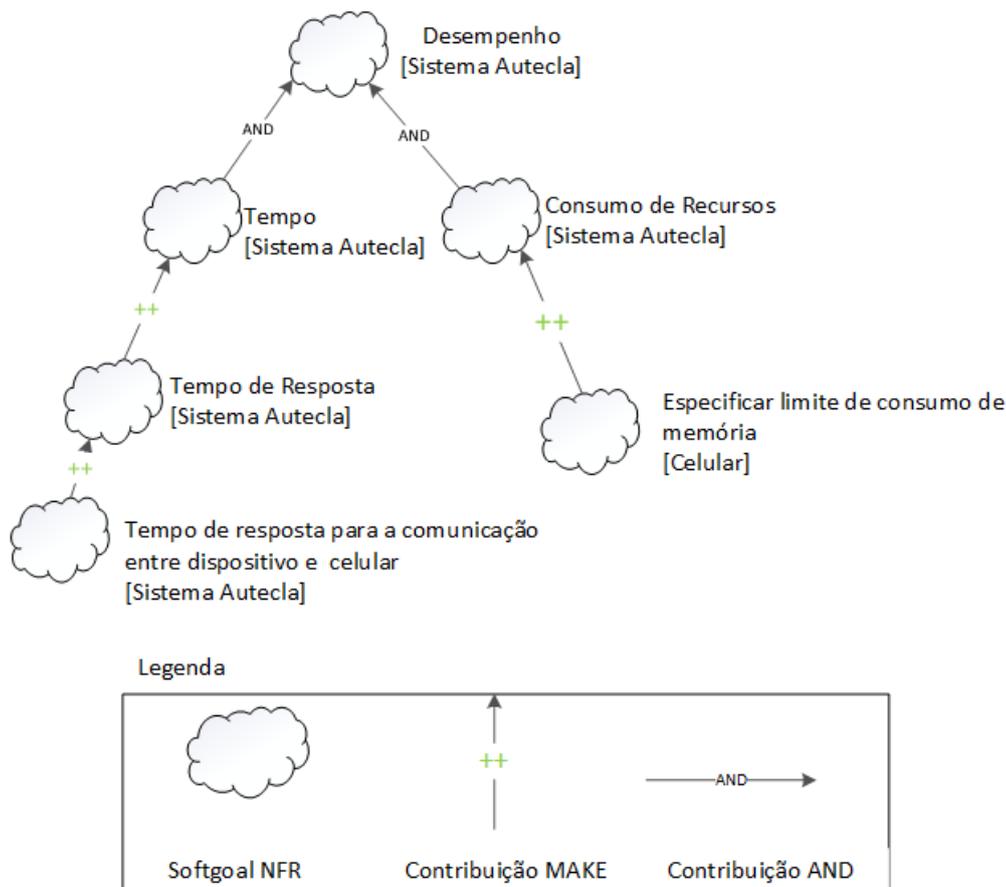


Fonte: Próprio Autor

A figura 81 apresenta os Requisitos Não-Funcionais relacionados aos aspectos de Desempenho do sistema. Eles são baseados na seção 3.3.4 (Ver 27) e instanciados para construção do SIG de Desempenho do Sistema Autecla.

Na Figura 81, O grafo Interdependência de Softgoal - Softgoal Interdependency Graph (SIG) apresenta os Requisitos Não-Funcionais relacionados ao Desempenho do Sistema Maia através de softgoals NFR. Estes Requisitos Não-Funcionais

Figura 81 – Desempenho - contribuições e operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

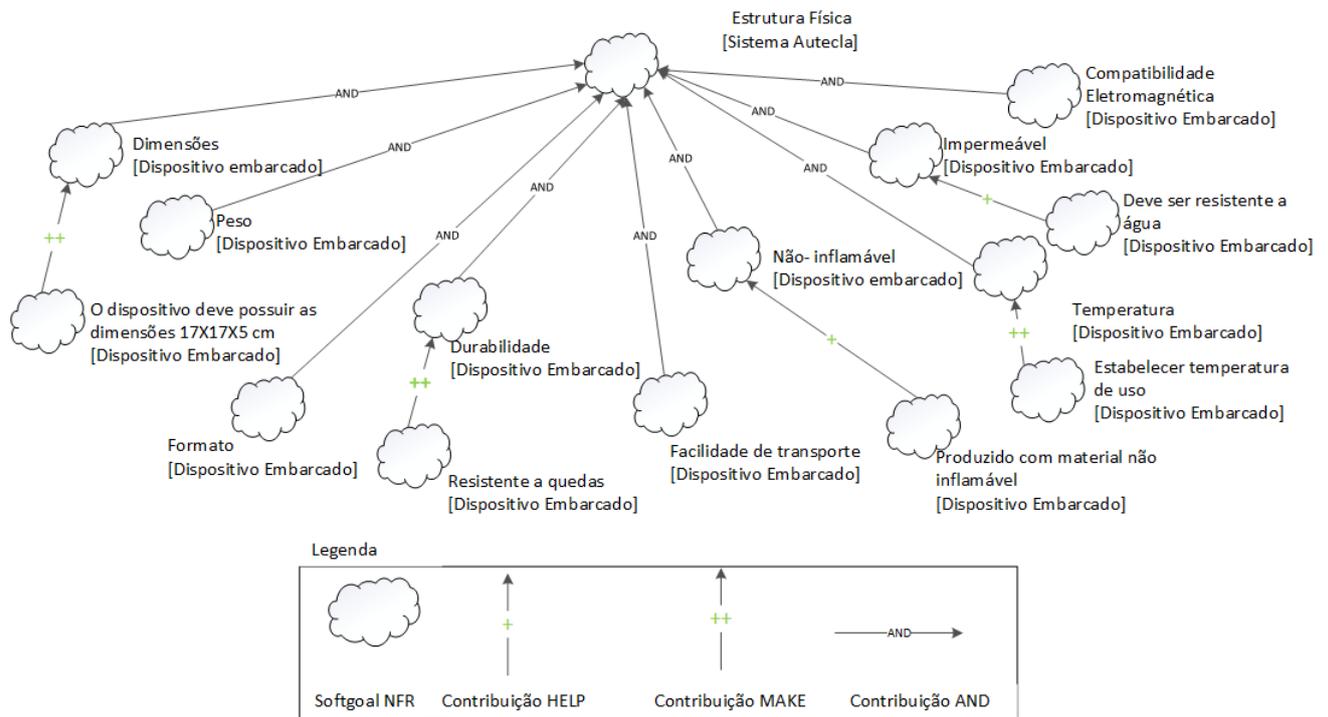
são: **Tempo**, **Tempo de Resposta** e **Consumo de Recursos**. O Requisito Não-Funcional **Tempo** apresenta o refinamento **Tempo de Resposta**. O O Requisito Não-Funcional **Tempo de Resposta** possui o refinamento **Tempo de Resposta para a comunicação entre dispositivo de celular**. O Requisitos Não-Funcional Consumo de Recursos é refinado no requisito "Especificar limite de consumo de memória". Dessa forma, foram reutilizados os Requisitos Tempo de Resposta e Consumo de Recursos e novos Requisitos Não-Funcionais foram criados a partir de seus refinamentos.

### • Estrutura Física

Na figura 82 são apresentados os *softgoals* relacionados a estrutura física do sistema. Assim, são mostrados os *softgoals* dimensões, peso, formato, durabilidade com seu refinamento. Além disso, são apresentados os *softgoals* facilidade de transporte, não inflamável, temperatura, e impermeável e compatibilidade eletromagnética.

Na Figura 82 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais que abordam os aspectos relacionados a Estrutura Física do Sistema Autecla através de um SIG. São apresentados os **Dimensões** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "O dispositivo deve possuir as dimensões 17x15x5 cm"), **Peso**, **Formato**, **Durabilidade**

Figura 82 – Estrutura Física - contribuições e operacionalizações



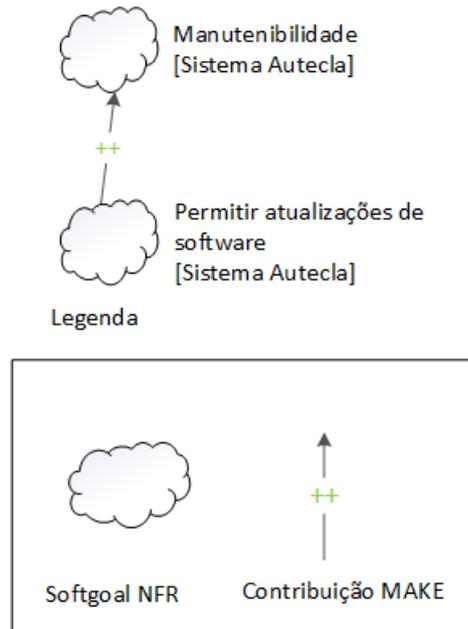
Fonte: Próprio Autor

(Refinado para o Requisito Não-Funcional "Resistente a quedas"), **Facilidade de Transporte**, **Não-Inflamável** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "Produzido com material não-inflamável"), **Temperatura** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "Estabelecer temperatura de uso", **Impermeável** (Refinado para o Requisito Não-Funcional "Deve ser resistente a água") e **Compatibilidade Eletromagnética**. Com a aplicação do Catálogo NFR4Es surgiram 5 Requisitos Não-Funcionais com a instanciação dos Requisitos Não-Funcionais **Dimensões**, **Durabilidade**, **Não inflamável**, **Temperatura** e **Impermeável**. Além disso os Requisitos **Peso**, **Formato**, **Facilidade de Transporte** e **Compatibilidade Eletromagnética** foram reutilizados.

### • Manutenibilidade

A figura 83 apresenta o *softgoal* de Manutenibilidade e um refinamento deste softgoal que expressa que o sistema deve permitir atualizações de software.

Figura 83 – Manutenibilidade - contribuições e operacionalizações



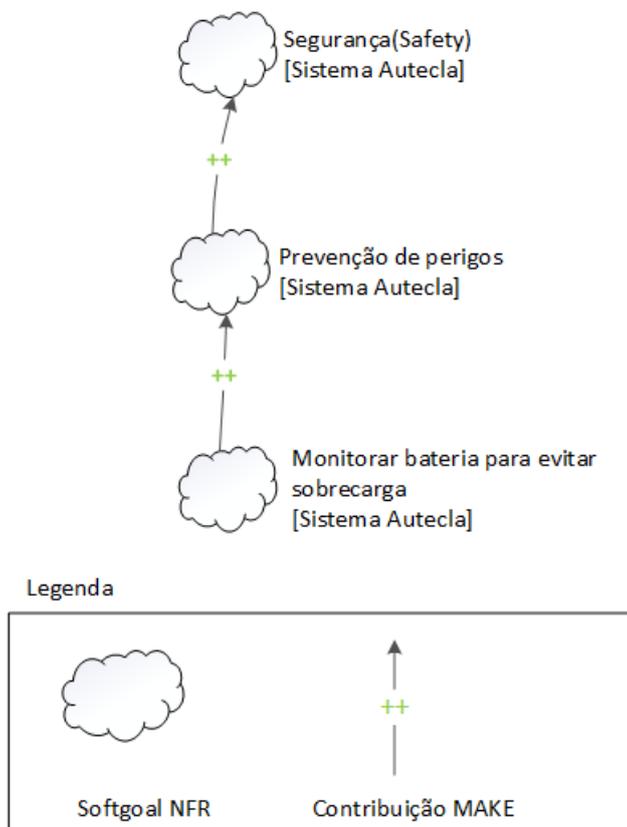
Fonte: Próprio Autor

A figura 83 apresenta o Requisito Não-Funcional **Permitir atualizações de software** que foi instanciado a partir do Requisito Não-Funcional **Manutenibilidade**. Portanto, o Requisito Não-Funcional **Manutenibilidade** foi reutilizado e um novo Requisito Não-Funcional foi criado a partir de um refinamento.

- **Segurança (*Safety*)**

Na figura 84 é apresentado o *softgoal* safety e refinamentos deste softgoal.

Figura 84 – Segurança(Safety) - contribuições e operacionalizações

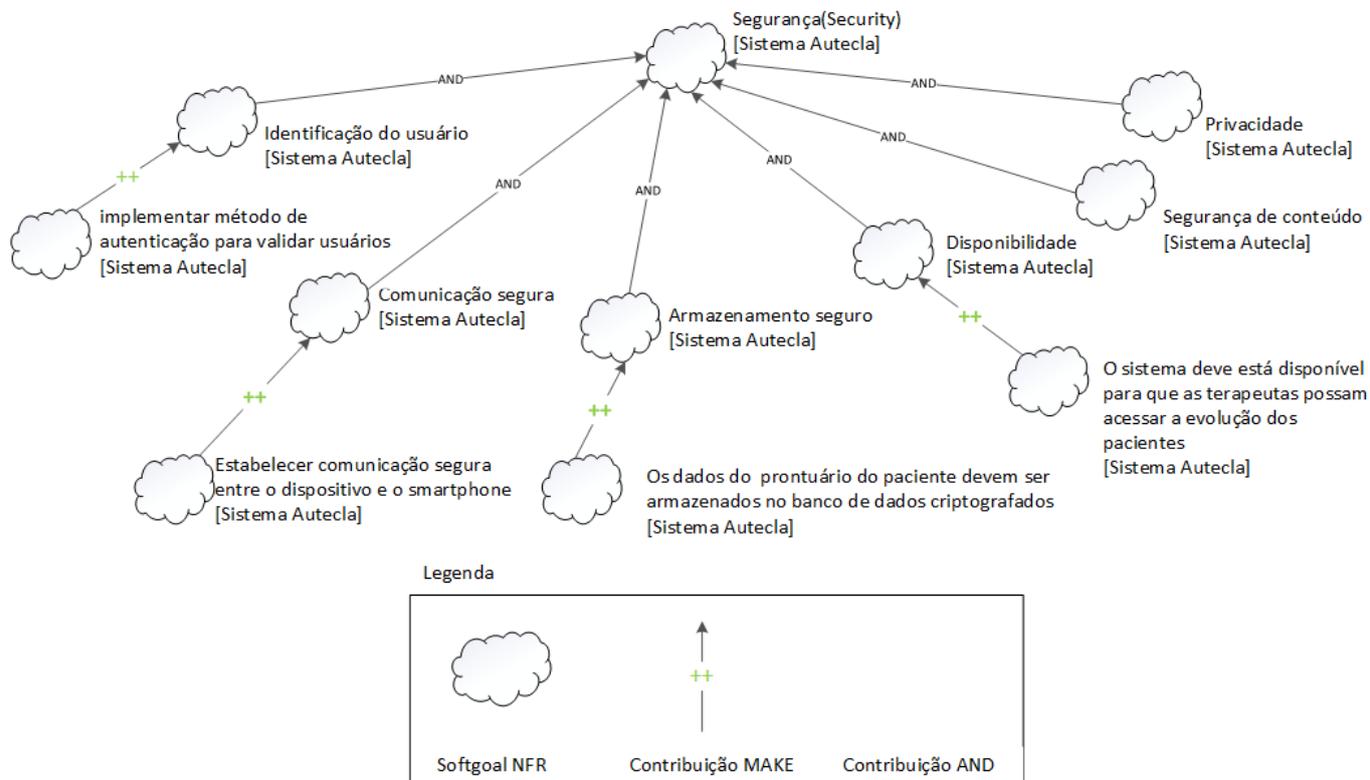


Fonte: Próprio Autor

A figura 84 apresenta o Requisito Não-Funcional **Monitorar bateria para evitar sobrecarga** que foi instanciado a partir do Requisito Não-Funcional **Prevenção de Perigos** que é um refinamento do Requisito Não-Funcional Segurança do tipo *Safety*. Portanto, os Requisitos Não-Funcionais **Segurança do Tipo Safety** e **Prevenção de perigos** foram reutilizados e um novo Requisito Não-Funcional foi criado a partir de um refinamento do Requisito Não Funcional **Prevenção de perigos**.

- **Segurança(*Security*)**

Na figura 85 são apresentados os *softgoals* relacionados a segurança(*security*) do sistema Autecla. Assim, são mostrados os *softgoals* identificação do usuário, comunicação segura, armazenamento seguro, disponibilidade e seus refinamentos. Além disso, são apresentados os *softgoals* segurança de conteúdo e privacidade.

Figura 85 – Segurança(*Security*) - contribuições e operacionalizações

Fonte: Próprio Autor

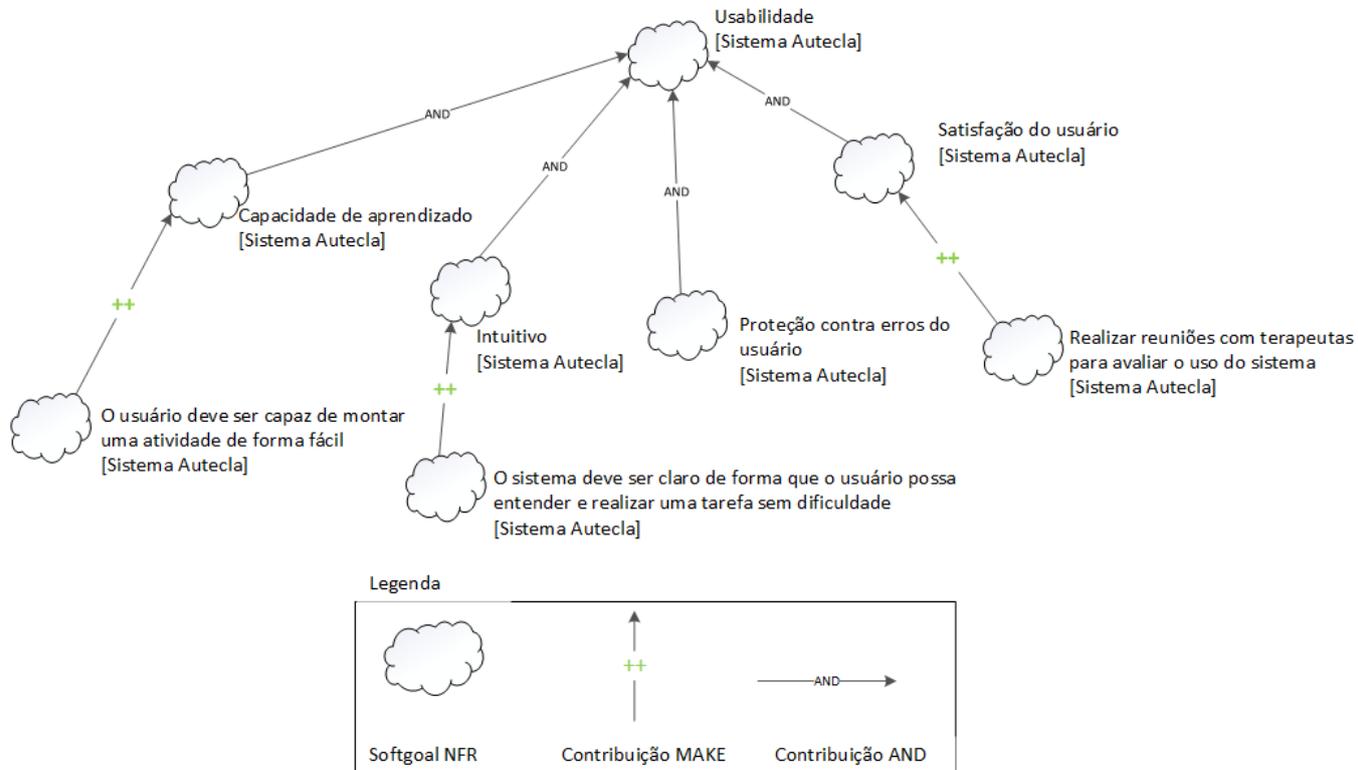
Na Figura 74 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais que tratam os aspectos de segurança(security) do Sistema Autecla. O Requisito Segurança do tipo Security é refinado nos Requisitos Não-Funcionais **Identificação do Usuário**(Refinado para o Requisito Não-Funcional "implementar método de autenticação para validar usuários") , **Comunicação segura**(Refinado para o Requisitos Não Funcional "Estabelecer comunicação segura entre o dispositivo e o smartphone", **Armazenamento Seguro**(Refinado para o Requisito Não-Funcional "Os dados do prontuário do paciente devem ser armazenados no banco de dados criptografados", **Disponibilidade** (Refinado para o Requisito Não-Funcional (O sistema deve está disponível para que as terapeutas possam acessar a evolução dos pacientes", **Segurança de Conteúdo** e **Privacidade**. Dessa forma, novos Requisitos Não-Funcionais foram criados a partir dos Refinamentos dos Requisitos Não-Funcionais **Identificação do Usuário**, **Comunicação Segura**, **Armazenamento Seguro**, **Disponibilidade**, **Segurança de conteúdo** e **Privacidade**. Além disso, os Requisitos Não-Funcionais **Segurança de Conteúdo** e **Privacidade** foram reutilizados.

- **Usabilidade**

A figura 86 são apresentados os *softgoals* relacionados a usabilidade que serão aplicados para o sistema Autecla. Assim, são mostrados os *softgoals* capacidade de aprendi-

zado, intuitivo, satisfação do usuário e seus refinamentos. Além disso, é apresentado o *softgoal* proteção contra erros do usuário.

Figura 86 – Usabilidade - contribuições e operacionalizações



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 75 são apresentados os Requisitos Não-Funcionais relacionados a Usabilidade do Sistema Autecla através de um grafo Interdependência de Softgoal - *Softgoal Interdependency Graph* (SIG). O Requisito Usabilidade é Refinado nos softgoals Capacidade de Aprendizado, Intuitivo, Proteção Contra Erros e Satisfação do Usuário. O softgoal NFR **Capacidade de Aprendizado** é refinado para o Requisitos Não-Funcional "O usuário deve ser capaz de montar uma atividade de forma fácil". O softgoal **Intuitivo** é refinado para o Requisito Não-Funcional "O sistema deve ser claro de forma que o usuário possa entender e realizar uma tarefa sem dificuldade". O softgoal **Satisfação do usuário** é refinado para o Requisitos Não-Funcional "Realizar reuniões com terapeutas para avaliar o uso do sistema". Portanto, o Requisito Não Funcional **Proteção Contra Erros do Usuário** foi reutilizado e foram criados 3 novos Requisitos Não-Funcionais a partir dos refinamentos dos Requisitos Não-Funcionais **Capacidade de Aprendizado**, **Intuitivo** e **Satisfação do Usuário**.

**3ª Etapa - Criação dos cartões de especificação:** Esta etapa é definida para a criação dos cartões de especificação com o detalhamento dos requisitos. Por questões

relacionadas a confidencialidade não foram construídos os cartões de especificação para o sistema Autecla.

#### **4.1.6 Resultados e Discussão - Prova de Conceito 2**

A elicitação e especificação de requisitos do sistema Autecla foi realizada pelas duas desenvolvedoras responsáveis pelo projeto, elas nos forneceram informações para que o autor desta Dissertação construísse os SIG com base no catálogo NFR4ES. Após a construção dos catálogos eles foram devidamente validados com as desenvolvedoras do projeto. Em seguida, após a instanciação do catálogo, foram feitas algumas perguntas as desenvolvedoras do projeto que participaram da elicitação dos requisitos, onde foram feitas algumas considerações sobre o uso do catálogo. A perguntas foram enviadas para as duas desenvolvedoras através de um questionário enviado via e-mail, onde as duas desenvolvedoras responderam o questionário em conjunto e re-enviaram para o autor. As perguntas e respostas do questionário aplicado são apresentadas a seguir.

- **O catálogo ajudou na elicitação dos requisitos não funcionais relevantes para o projeto?**
  - Sim. O catálogo é de grande ajuda, porque ele direciona todo o estudo dos requisitos não funcionais do projeto e torna o trabalho objetivo. O catálogo é bem completo e traz os mais importantes RNFs para a área de sistemas embarcados e à medida que vamos o preenchendo, temos a oportunidade de repensar muitos tópicos sobre o projeto.
- **O catálogo apresentou uma boa abrangência em relação aos RNFs e atendeu as necessidades do projeto?**
  - Sim. O catálogo é muito bem selecionado, é bem completo. Realmente, para um projeto de sistemas embarcados ele traz tudo de importante desde tópicos sobre segurança até a estrutura física.
- **O catálogo apresentou Requisitos Não-Funcionais que você ainda não tinha aplicado em projetos de embarcados**
  - Sim. Existiam detalhes sobre a estrutura física do dispositivo que ainda não tínhamos pensado e também alguns detalhes acerca de proteção aos erros de usuário.
- **Houve dificuldade na utilização do catálogo?**
  - Não. conseguimos esclarecer qualquer dúvida que tínhamos com a descrição de cada tópico que foi anexada ao catálogo.

- **Nas necessidades do projeto, houveram requisitos que não foram apresentados no catálogo e tiveram a necessidade de serem especificados? Quais?**

– Não. Achamos o catálogo completo nos tópicos abordados e em suas descrições.

Com a aplicação desta Prova de Conceito, observamos que nossa abordagem se mostrou útil na elicitação dos requisitos. O catálogo NFR4ES conseguiu cobrir de forma eficiente os requisitos Não-Funcionais do sistema Autecla abrangendo muito Requisitos Não-Funcionais do projeto. Com ele podemos elicitar alguns dos Requisitos Não-Funcionais do projeto. O autor apresentou as desenvolvedoras do sistema Autecla que participaram desta Prova de Conceito a notação do NFR Framework proposta por Chung et al. (2000). Dessa forma, as desenvolvedoras do projeto Autecla validaram os artefatos finais gerados, ou seja, os catálogos SIG. Elas afirmaram que os catálogos gerados conseguiram expressar bem a realidade do projeto e ilustrar de forma simples os Requisitos Não-Funcionais do sistema. Além disso, na visão delas, o cartão de especificação conseguiu contemplar as principais informações que devem ser especificadas para o projeto.

## 4.2 AVALIAÇÃO COM ESPECIALISTAS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIO

Segundo Gil (2008), a aplicação de questionário é uma técnica de investigação composta por um conjunto de questões que são submetidas a pessoas com o propósito de obter informações sobre conhecimentos, crenças, sentimentos, valores, interesses, expectativas, aspirações, temores, comportamento presente ou passado, etc.

A construção de um questionário consiste em traduzir os objetivos da pesquisa em questões específicas. As respostas a estas questões irão fornecer os dados requeridos para representar as características da população ou testar as hipóteses que foram construídas durante o planejamento da pesquisa (GIL, 2008)

Os questionários, na maioria das vezes, são propostos por escrito aos respondentes (GIL, 2008). Costumam, nesse caso, ser designados como questionários auto-aplicados. Quando, porém, as questões são formuladas oralmente pelo pesquisador, podem ser designados como questionários aplicados com entrevista ou formulários. Nesta avaliação utilizamos um questionário auto-aplicado que foi disponibilizado por escrito, podendo também ser aplicado de forma online caso o respondente não estivesse disponível para respondê-lo de forma presencial.

A aplicação do instrumento ocorreu da forma presencial. Primeiramente o catálogo foi explicado ao participante, depois estes participantes fizeram a leitura. Em seguida os participantes analisaram de forma detalhada do catálogo. No final responderam o instrumento. Na aplicação online, foi realizada através de video-conferência, onde o questionário foi enviado ao respondente, lido, analisado, respondido e re-enviado ao autor.

O questionário utilizado nesta pesquisa foi validado durante reuniões entre o pesquisador e os orientadores deste estudo. O instrumento de avaliação possui 13 questões, com 3 questões abertas, 9 questões fechadas, e 1 questão numérica. O questionário é apresentado no apêndice E.

Os perfil dos participantes desta pesquisa foi constituído de desenvolvedores de Sistemas Embarcados, Engenheiros de Requisitos e Profissionais da Academia que atuam na área de Sistemas Embarcados. Os participantes foram convidados através de contato via *email*. Neste contato foi apresentado um resumo sobre o trabalho e a forma que seria aplicada a avaliação. Foram convidados 23 participantes, que foram escolhidos através de um lista de contatos fornecida por um especialista do domínio que participou da nossa pesquisa. Dos 23 participantes convidados, 10 participantes realizaram a avaliação.

O questionário utilizado nesta pesquisa foi organizado em três partes. Na primeira parte são apresentadas 3 perguntas para definir o perfil dos participantes. Na segunda parte apresentamos 7 perguntas sobre o catálogo. Na parte final são apresentadas 3 perguntas subjetivas com o objetivo de possibilitar ao respondente uma complementação da avaliação do catálogo, seja para esclarecer seu ponto de vista, seja para incluir algo de sua experiência. O questionário é apresentado no Apêndice E.

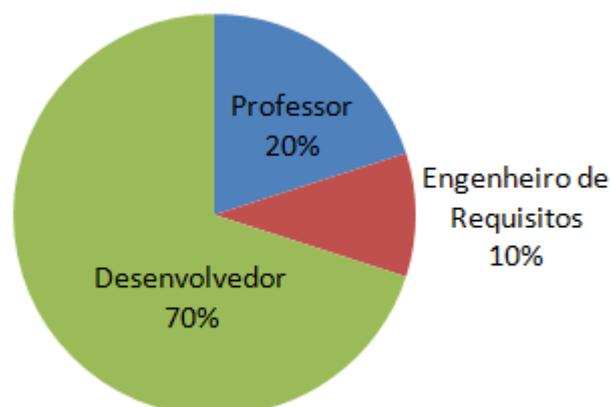
A métrica utilizada para analisar as respostas do questionário foi a escala desenvolvida por (LIKERT, 1932). A seguir serão apresentadas as análises das assertivas do questionário.

#### 4.2.1 Perfil do respondentes

- **Assertiva 1 - Qual sua ocupação atual?**

Na Figura 87 é apresentada a ocupação dos participantes da pesquisa. Ela mostra que 70% (7/10) dos participantes são desenvolvedores. Já 20% (2/10) são professores e atuam na pesquisa sobre Sistemas Embarcados e somente 10% (1/10) são engenheiros de requisitos.

Figura 87 – Ocupação dos participantes

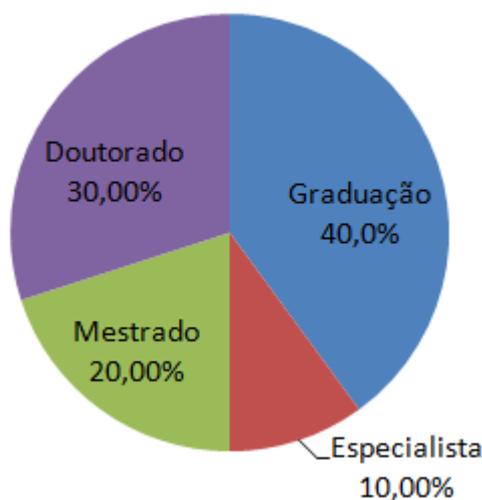


Fonte: Próprio Autor

- **Assertiva 2 - Qual sua maior formação?**

A Figura 88 aponta que 40% (4/10) dos participantes possuem apenas graduação e outros 30% (3/10) possuem doutorado, 20% (2/10) são mestres e 10% (1/10) possuem especialização.

Figura 88 – Formação dos participantes



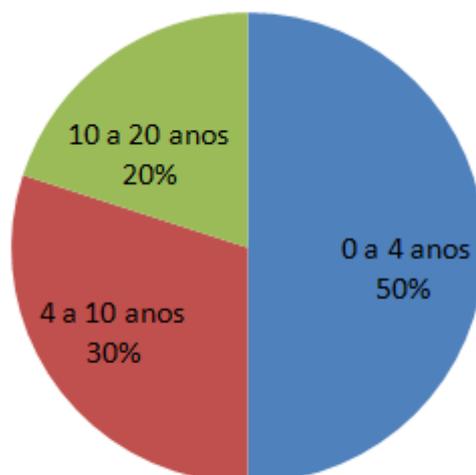
Fonte: Próprio Autor

- **Assertiva 3 - Quantos anos de experiência você tem no desenvolvimento de Sistemas Embarcados?**

De acordo com a Figura 89, observamos que 50% dos participantes têm de 0 a 4 anos de experiência no desenvolvimento de Sistemas Embarcados. 30% dos participantes têm de 4 a 10 anos de experiência e 20% dos participantes possuem de 10 a 20 anos de experiência. Assim, 50% dos participantes atuam a mais de 4 anos na área e possuem uma boa experiência para avaliarem o catálogo proposto.

Com base no perfil apresentado pelos participantes concluímos que, a maior parte dos respondentes são desenvolvedores de Sistemas Embarcados, isso aponta que o nosso catálogo foi aplicado a profissionais que lidam com essas questões constantemente em seus projetos e conseqüentemente podem dar um *feedback* de qualidade sobre a nossa abordagem. Além disso, participaram professores com os quais obtivemos a visão de profissionais da academia sobre o catálogo. A grande parte dos participantes, cerca de 50%, possui mestrado ou doutorado, sendo assim podemos ter a opinião qualificada de profissionais que atuam ou atuaram com pesquisa na área de embarcados. Por fim, obtemos o resultado que pelo menos 50% dos participantes tem mais de 4 anos de experiência com desenvolvimento ou pesquisa de sistemas embarcados. Acreditamos que estes participantes tem uma experiência significativa e agregaram um bom conhecimento da área ao longo dos anos a ponto de nos fornecer uma opinião de qualidade sobre o catálogo proposto.

Figura 89 – Tempo de experiência no desenvolvimento de Sistema Embarcado



Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.2 Avaliação do catálogo NFR4Es

- **Assertiva 4 - Os Requisitos Não-Funcionais apresentados no catálogo NFR4ES são pertinentes a projetos de sistemas embarcados.**

Conforme pode ser visto na Figura 90, 70% (7/10) dos participantes concordaram totalmente e 30% (3/10) concordaram parcialmente com essa assertiva, nenhum participante optou como respostas as opções neutro, discordo parcialmente e discordo totalmente. Esta assertiva apontou por parte dos participantes que os requisitos apresentados no catálogo são relevantes, pertinentes e devem ser levados em consideração em projetos de Sistemas Embarcados.

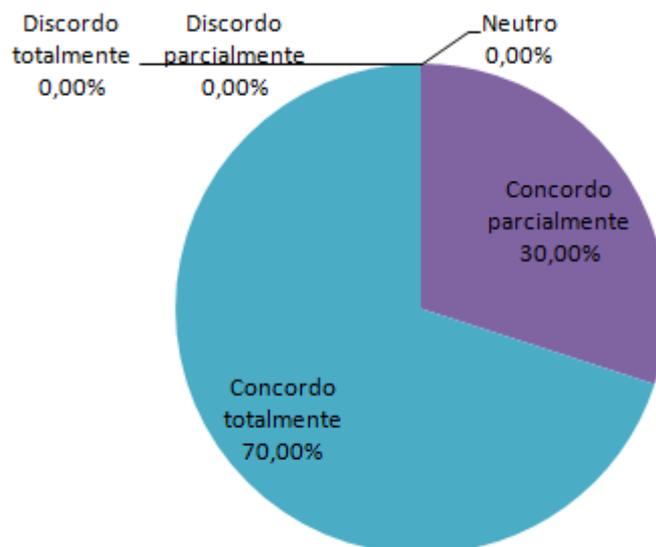
- **Assertiva 5 - As correlações apresentadas no catálogo NFR4ES são condizentes com a realidade de projetos de Sistemas embarcados.**

O objetivo desta assertiva é saber se as correlações apresentadas no catálogo estão bem definidas e refletem o contexto real destes sistema. Com relação a essa afirmação, podemos ver através da Figura 91 que 60% (6/10) dos participantes concordaram totalmente e 40,0% (4/10) concordaram parcialmente com esse afirmação. As outras opções não foram selecionadas pelos participantes.

- **Assertiva 6 - Os requisitos do catálogo NFR4ES apresentam definições adequadas.**

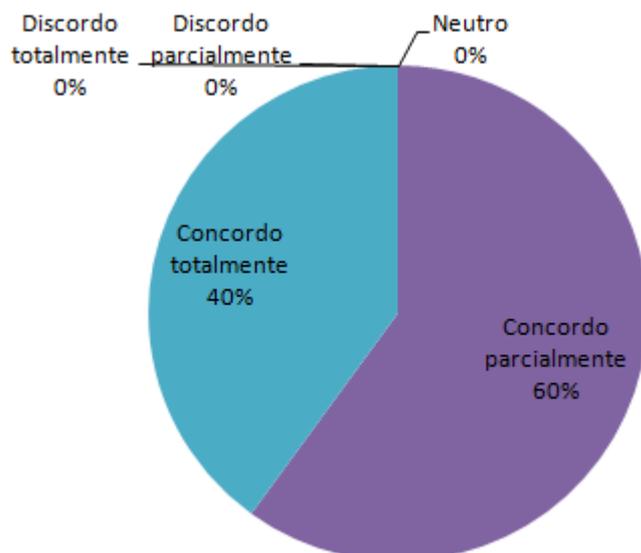
De acordo com a figura 92, um percentual de 60% (6/10) dos participantes concordam totalmente com as definições apresentadas no catálogo e 40% (4/10) concordam parcialmente. As opções neutro, discordo parcialmente e discordo totalmente não foram respondidas pelos participantes. Portanto de acordo com o resultado obtido

Figura 90 – Resultados da Assertiva 4



Fonte: Próprio Autor

Figura 91 – Resultados da Assertiva 5



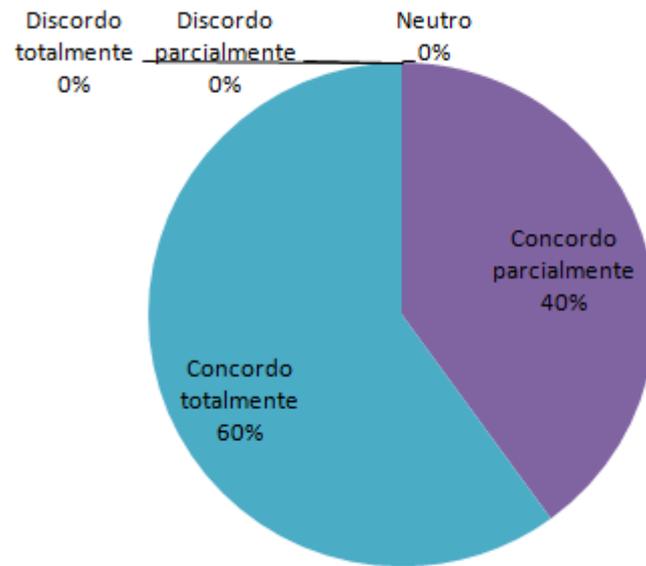
Fonte: Próprio Autor

através desta pergunta entendemos que as definições obtidas a partir da literatura, são consistentes, segundo a opinião dos participantes.

- **Assertiva 7- O Catálogo NFR4ES é de fácil entendimento.**

Em relação a facilidade de entendimento do catálogo, a Figura 93 mostra que 50% (5/10) dos participantes concordam totalmente que o catálogo apresenta uma fácil compreensão, 40% (4/10) concordam parcialmente e 10% (1/10) se mostraram neutros. Com estes resultados, concluímos que segundo a maioria dos participan-

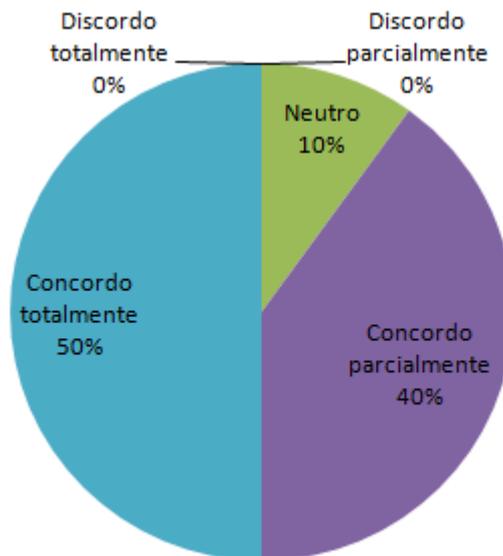
Figura 92 – Resultados da Assertiva 6



Fonte: Próprio Autor

tes(90%), a apresentação do catálogo é de fácil compreensão.

Figura 93 – Resultados da Assertiva 7



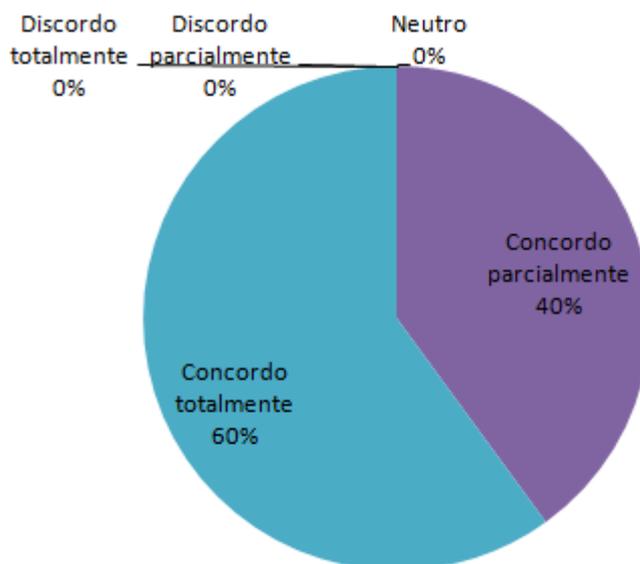
Fonte: Próprio Autor

- **Assertiva 8 - O catálogo NFR4ES é um artefato útil nas etapas de elicitação e especificação no Processo de Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados.**

Conforme pode ser visto na Figura 94, é mostrado que 60% (6/10) dos participantes concordaram totalmente que o catálogo pode ser um artefato útil e pode agregar

uma melhoria da qualidade na elicitação dos requisitos, 40% (4/10) concordaram parcialmente com esta afirmativa e as outras opções como neutro, discordo parcialmente e discordo totalmente não foram respondidas pelos participantes.

Figura 94 – Resultados da Assertiva 8



Fonte: Próprio Autor

- **Assertiva 9 - Eu utilizaria o catálogo NFR4ES em projetos futuros.**

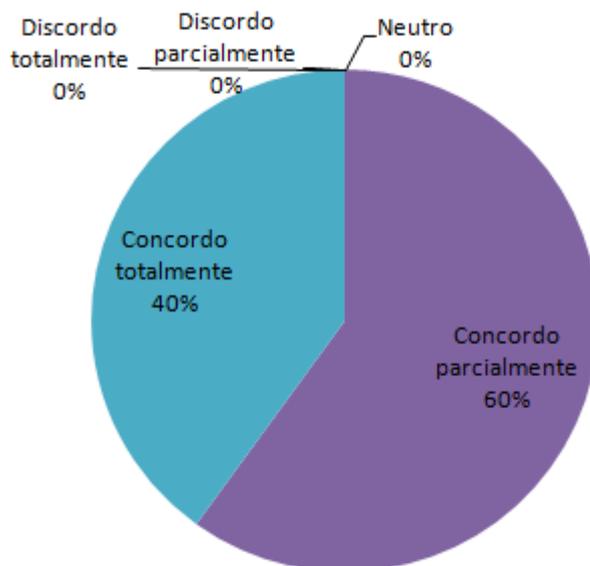
A figura 95 mostra que 60% dos participantes concordam parcialmente e utilizariam o catálogo em projetos futuros e 40% concordam totalmente. Já as outras opções (discordo totalmente, discordo parcialmente e neutro) não tiveram respostas. Pelos resultados desta afirmação, o catálogo teve uma boa aceitação por parte dos participantes e eles utilizariam em seus projetos futuros como um artefato para melhorar a elicitação e especificação de seus projetos.

- **Assertiva 10 - Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo NFR4ES.**

Conforme a figura 96, 80% (8/10) dos participantes concordam totalmente com esta afirmação e recomendariam o uso do catálogo para outras pessoas e 20% (2/10) concordam parcialmente. As opções discordo totalmente, discordo parcialmente e neutro não apresentaram respostas.

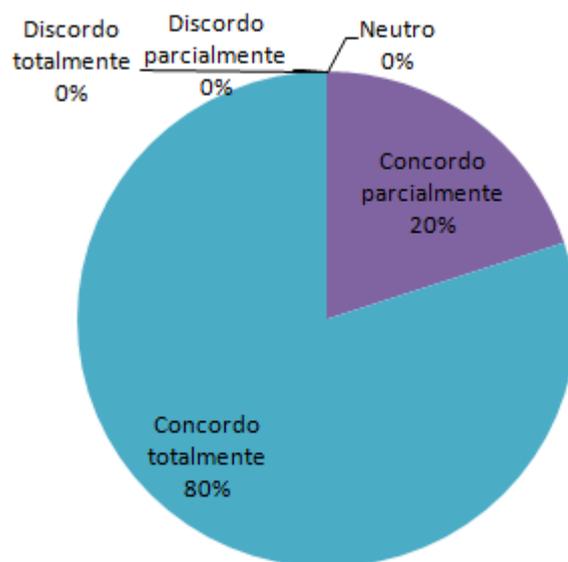
Com os resultados das questões de 4 a 10 concluímos que o catálogo NFR4ES apresenta requisitos que refletem bem a realidade de projetos de Sistemas Embarcados e os participantes validaram de maneira positiva a pertinência destes requisitos. As correlações definidas refletiram de maneira satisfatória os impactos de um RNF sobre outro. Porém, surgiram algumas discordâncias e divergências no ponto de vista

Figura 95 – Resultados da Assertiva 9



Fonte: Próprio Autor

Figura 96 – Resultados da Assertiva 10



Fonte: Próprio Autor

de alguns avaliadores, esta é uma questão que deve ser aprimorada em trabalhos futuros. Além disso as definições presentes no catálogo se mostraram adequadas. O catálogo se apresentou como um artefato de fácil entendimento, onde os participantes o utilizariam em projetos futuros. Por fim, os participantes recomendariam o catálogo para outros colegas para que o utilizassem em seus projetos como um instrumento de apoio a elicitação e especificação de Sistemas embarcados.

### 4.2.3 Sugestões de Melhoria

- **Assertiva 11 - Há algum requisito no projeto de sistemas embarcados que não foi citado e você gostaria de destacar e acrescentar no catálogo?**

Para esta questão foram realizadas algumas considerações por parte dos participantes. A seguir apresentamos estas observações:

- Um dos participantes apontou, como requisitos que podem ser acrescentados no catálogo, os requisitos ligados a comunicação e mencionou que eles são fundamentais em *Internet of Things* (IOT). Porém, não mencionou nenhum destes requisitos.
  - Outro participante fez uma observação que o requisito *time-market* pode estar associado a custo ou tempo. Este participante também citou o requisito de Escalabilidade em um Sistema Embarcado, que seria a possibilidade do sistema crescer. Este respondente também fez uma consideração sobre um requisito Temperatura e Não-Inflamável como Temperatura Externa (onde o sistema não ultrapasse uma determinada temperatura que provocasse o seu aquecimento e sua queima).
  - Outro participante citou que um requisitos de Modularização deveria ser adicionado.
  - Um dos participantes achou que não era necessário acrescentar mais requisitos no catálogo, pois da forma que ele foi apresentado o fez enxergar requisitos que não havia pensado mas são importantes.
- **Assertiva 12 - Há alguma correlação que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?**

Sobre a assertiva 12, os participantes fizeram as seguintes considerações.

- Um dos participantes fez a observação que, os Custos do Produto derivam dos custos do projeto, e isso impacta em outros RNFs.
- Outro participante sugeriu relacionar Confiabilidade ou Manutenibilidade o item Autonomia (se for em relação apenas ao sistema estar ligado, então associar a Consumo). Ou seja, uma métrica de que o sistema esteja funcional sem intervenção para manutenção. Este participante também sugeriu associar Escalabilidade a Portabilidade ou usabilidade: fácil integração do sistema a outros sistemas iguais ou como parte de um sistema maior.
- Outro participante sugeriu uma correlação entre Disponibilidade e segurança do tipo *safety*

- 
- Outro participante apontou que se a Estrutura Física se referir ao tamanho do componente, como o processador, podemos ter um cenário que quanto menor impacta positivamente em Consumo de Energia, Desempenho, Portabilidade, e a Manutenibilidade tem impacto positivo ao Custo.
  - Um outro participante teve a opinião que Estrutura Física não gera nenhum impacto direto em segurança do tipo *safety*.
  - Outro participante disse que de acordo com o formato atual do catálogo NFR4ES, não faria mudanças, só fária mudanças caso outros RNFs fossem adicionados.
  - Outro participante teve a opinião que Consumo de Energia causa um impacto positivo em Custo (maior consumo, maior custo).
- **Assertiva 13 - Existem outras modificações que podem ser feitas para melhorar o catálogo? Quais?**

Alguns dos participantes fizeram observações sobre a assertiva 13, estas são descritas a seguir

- Um dos participantes não considera a capacidade de aprendizado como Requisito Não-funcional. Em seu entendimento esta característica é uma funcionalidade do sistema onde ele precisa coletar dados e realizar operações.
- Outro participante fez a observação que a exibição dos Requisitos em nuvens com setas representando correlações fica um pouco confusa e a primeira vista pode assustar o usuário do catálogo.
- Outro participante disse que trocaria Satisfação do Usuário por Experiência do Usuário ou manteria as duas. Ele questionou se Facilidade de Transporte não entraria em portabilidade, e faria a inclusão do requisito Modularização, que seria a possibilidade de utilizá-lo com outros módulos.

De acordo com as questões 11 a 13 concluímos que, o catálogo apresentou uma boa abrangência em relação aos Requisitos Não-Funcionais no domínio de Sistemas Embarcados, alguns participantes realizaram observações sobre os requisitos apresentados, como a inclusão de novos requisitos e pequenas modificações nos requisitos existentes. As correlações foram outro ponto de discussão, onde houveram discordâncias sobre este tópico, alguns participantes sugeriram novas correlações, outros sugeriram modificações, onde estes participantes discordaram de algumas correlações propostas. Dessa forma essas considerações serão levadas em consideração para versões futuras do catálogo com o objetivo de corrigir possíveis erros e aumentarmos a sua abrangência.

### 4.3 LIMITAÇÕES

Em relação às avaliações realizadas para avaliar a nossa proposta apontamos algumas limitações. Para a Prova de Conceito, acreditamos que se o avaliador tivesse realizado todo o processo de elicitação e especificação sozinho, apenas com a orientação de como utilizar o nosso catálogo poderíamos ter uma melhor opinião dele sobre esta utilização. Na aplicação do questionário apresentamos como limitação o número pequeno de participantes, acreditamos que um número maior de participantes possa oferecer resultados mais consistentes sobre o catálogo proposto. Além disso, outra limitação da aplicação do questionário foi a indisponibilidade dos participantes em realizar a avaliação presencialmente, que foi a nossa proposta inicial. Para isso, oferecemos como alternativa a aplicação realizada por video-conferência.

### 4.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentada uma Prova de Conceito na área médica, utilizando o sistema MAIA para ilustrar a aplicação do nosso catálogo de Requisitos Não-Funcionais para sistemas embarcados na elicitação e especificação de requisitos de uma sistema real. Em seguida foi realizada a aplicação de um questionário com especialistas do domínio para avaliar a nossa proposta.

Os resultados obtidos desta avaliação foram considerados positivos, pois indicam que os objetivos deste trabalho foram alcançados. Apresentar um catálogo que possa apoiar a elicitação e especificação de Requisitos Não-Funcionais para sistemas embarcados, que seja bem avaliado por grande parte dos participantes.

O aplicação da prova de Conceito foi importante para verificar como o catálogo pode ajudar desenvolvedores e projetistas de sistemas embarcados em um contexto real. Observa-se que o catálogo NFR4ES se mostrou útil e colaborou com o processo de elicitação e especificação do sistema proposto.

O questionário aplicado aos especialistas considerou a opinião de profissionais da área de Sistemas Embarcados com perfis diferentes. Observamos que o catálogo NFR4ES foi bem avaliado sobre perspectivas relevantes da pesquisa.

No próximo capítulo apresentaremos nossas conclusões com relação ao trabalho exposto, contribuições, algumas limitações da pesquisa e propostas de trabalhos futuros.

## 5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta os trabalhos relacionados com a pesquisa desenvolvida nesta dissertação, as contribuições e limitações do presente trabalho e os trabalhos futuros.

### 5.1 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção apresenta os trabalhos relacionados com o nosso estudo e um quadro comparativo entre estes trabalhos e o desenvolvido nesta pesquisa. Dessa forma, serão apresentados trabalhos que possuem abordagens para apoiar a elicitación e/ou especificação de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados.

#### 5.1.1 Uma Análise sobre a Engenharia de Requisitos em Sistemas Embarcados

O trabalho realizado por CAVALCANTE (2017) apresenta uma visão de como a comunidade de desenvolvimento de Sistemas Embarcados está lidando com os Requisitos Não-Funcionais na fase de especificação do processo de Engenharia de Requisitos. Dessa forma, foram feitas análises sobre os Requisitos Não-Funcionais tais como: O Tipo de contribuição, Tipo da pesquisa, Método de pesquisa e Contexto de aplicação. Além disso, foram analisadas algumas questões específicas sobre a especificação de Requisitos Não-Funcionais em sistema embarcados mais especificamente: Quais as linguagens usadas para a especificação dos RNFs nos sistemas embarcados?, Quais os RNFs mais frequentes e seus respectivos domínios nas abordagens dos sistemas embarcados? e Quais os problemas em aberto mais frequentes encontrados na especificação de RNFs dos sistemas embarcados?.

CAVALCANTE (2017) apontou um conjunto dos requisitos não funcionais mais frequentes em sistemas embarcados e os seus respectivos domínios, porém não apresentou uma catalogação destes requisitos que possa auxiliar desenvolvedores de sistemas embarcados em projetos futuros.

#### 5.1.2 GERSE: Guia para Elicitación de Requisitos de Sistemas Embarcados

O estudo realizado por Ossada et al. (2012) apresenta o Guia de Elicitación de Requisitos para Sistemas Embarcados (GERSE). Eles propuseram um guia para facilitar o processo de construção de Software Embarcado através de uma proposta sistemática de execução de um conjunto de atividades de elicitação de requisitos para Sistemas Embarcados, organizando e dando praticidade a essas atividades.

GERSE foi desenvolvido com o objetivo de melhorar o processo de captura e organização dos requisitos em projetos de Sistemas Embarcados. Este guia foi dividido em duas fases que constituem a pré fase e a fase principal. Ele foi organizado em sete categorias, que totalizam quarenta e seis atividade específicas que são responsáveis pela geração

de sete artefatos que devem compor os requisitos do Sistema Embarcado (OSSADA et al., 2012).

O guia GERSE tem o objetivo de especificar o sistema como um todo, porém não utiliza um catálogo que apresente um conjunto de requisitos não-funcionais devem ser levados em consideração em projetos de sistemas embarcados para apoiar desenvolvedores nas etapas de elicitação e especificação. A nossa abordagem visa contribuir com a elicitação e especificação de requisitos apresentando os Requisitos Não-funcionais para Sistemas Embarcados através de catálogos SIG do NFR Framework, fornecendo um conjunto representativo de RNFs para estes projetos.

### 5.1.3 TERASE: *Template* para Especificação de Requisitos de Ambiente em Sistemas Embarcados

No estudo realizado por Martins et al. (2010) foi desenvolvido um *Template* para Especificação de Requisitos de Ambiente em Sistemas Embarcados (TERASE). Este template surgiu com a proposta de facilitar e especificação dos Requisitos Não-Funcionais que irão compor o ambiente físico (*hardware*) em que o sistema embarcado será implementado.

Martins et al. (2015) concluiu que há uma carência de modelos de especificação que abordem as particularidades do desenvolvimento de sistemas embarcados. Com o template os engenheiros podem melhorar suas especificações de requisitos ambientais, bem como o processo de comunicação entre engenheiros de *hardware* e *software*.

Podemos concluir que a proposta do TERASE é especificar requisitos não-funcionais relacionados ao hardware do sistema. Nossa abordagem diferente do TERASE, abrange uma catalogação de RNFs para elicitar e especificar projetos de Sistemas Embarcados. Para isso, são apresentados com 44 Requisitos Não-Funcionais, que especificam além de requisitos relacionados ao hardware, diversos outros requisitos.

### 5.1.4 PRReSE – Processo de Reuso de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados usando NFR Framework

Toniolo e Martins (2014) apresenta um processo de reutilização de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados chamado Processo de Reuso de Requisitos Não Funcionais para Sistemas Embarcados usando *NFR Framework* (PRReSE). Este processo foi desenvolvido para apoiar as atividades de elicitação e especificação utilizando a reutilização de Requisitos Não-Funcionais dentro de uma família de produtos.

O PRReSE apresenta a catalogação dos requisitos não funcionais através de grafos SIG, utilizando o *NFR Framework*. Além disso, a especificação dos RNFs é realizada através do cartão de especificação (*snowcard*) desenvolvido por Robertson e Robertson (2012).

O PRReSE é semelhante a abordagem proposta nesta dissertação, pois tem como objetivo apoiar a elicitação e especificação de Requisitos Não-Funcionais, além disso utiliza

catálogos SIG do *NFR Framework* como notação para reuso em uma família de produtos. Nossa proposta se difere em oferecer um catálogo genérico que pode ser utilizado em diversos domínios de Sistemas Embarcados, enquanto o PRReSE cria uma catalogação para o reuso de requisitos em uma família de produtos.

### 5.1.5 Integração com Trabalhos Relacionados

O Catálogo NFR4Es pode ser integrado e utilizado com algumas das abordagens citadas na subseção anterior. O GERSE pode utilizar o catalogo NFR4ES como uma ferramenta para apoiar a elicitação e especificação dos Requisitos Não-Funcionais a serem considerados em projetos de Sistemas Embarcados, onde o catálogo pode ser utilizado na tarefa "Definir as restrições do produto (Requisitos não funcionais)" presente nas "Atividades de elicitação de requisitos de alto nível" do processo GERSE. O TERASE pode utilizar o catálogo NFR4Es para ajudar na elicitação dos Requisitos Não-Funcionais de Hardware que são tratados no catálogo como aspectos relacionados a estrutura física do sistema. O PRReSE pode utilizar o nosso catálogo genérico NFR4ES para identificar Requisitos Não-Funcionais que podem ser levados em consideração em projetos de sistemas embarcados, observando a perspectiva de uma família de produtos.

### 5.1.6 Comparativo entre os trabalhos

A Tabela 10 apresenta um quadro comparativo entre o trabalho desenvolvido nesta dissertação e os trabalhos relacionados citados nesta seção. Os critérios foram definidos de acordo com as principais características do catálogo: a utilização de grafos do *NFR Framework*, tratamento específico de RNFs, apoio as atividades de elicitação e especificação e implementam um catálogo do *NFR Framework* genérico para Sistemas Embarcados.

Tabela 10 – Comparação dos trabalhos relacionados sobre aspectos observados

Aspectos observados\ Trabalhos relacionados	Apresentam catálogos com o NFR framework	Tipos de Requisitos	Atividades apoiadas	Apresenta um catalogo genérico para SEs
(Cavalcante,2017)	Não	RNF	Especificação	Não
(Ossada et al.,2012)	Não	RF e RNF	Elicitação e Especificação	Não
(Martins et al.,2010)	Não	RNF	Especificação	Não
(Toniolo et al.,2018)	Sim	RNF	Elicitação e especificação	Não
NFR4ES	Sim	RNF	Elicitação e Especificação	Sim

Fonte:Próprio autor

A Tabela 10 apresenta quatro trabalhos que tem relação com a nossa pesquisa. o trabalho realizado por CAVALCANTE (2017) apresenta uma investigação sobre a especificação de Requisitos Não-Funcionais no domínio de Sistemas Embarcados. Os trabalhos desenvolvidos por Ossada et al. (2012)e (MARTINS et al., 2010) apresentam abordagens

de Engenharia de Requisitos para apoiar projetos de Sistemas Embarcados que também visam apoiar as atividades de elicitação e especificação de requisitos. Contudo, eles não fornecem catalogação de Requisitos Não-Funcionais. O trabalho desenvolvido por Toniolo e Martins (2014) além de apresentar uma catalogação com o NFR Framework podem ser utilizado no domínio de Sistemas Embarcados para elicitar e especificar famílias de produtos<sup>1</sup>. Em nosso trabalho a proposta é utilizar catálogos do *NFR Framework* para apoiar projetos de Sistemas Embarcados, onde esses catálogos podem ser aplicados em diversos domínios.

## 5.2 RESULTADOS

A pesquisa apresentada nesta dissertação possibilitou responder as seguintes questões de pesquisa:

- **Quais os Requisitos Não-Funcionais que devem ser levados em consideração em projetos de Sistemas Embarcados?**

Neste trabalho foi realizado um levantamento dos Requisitos Não-Funcionais predominantes na área de sistemas embarcados, bem como suas definições e atributos ou restrições. O resultado deste levantamento apresentou 44 Requisitos Não-Funcionais que devem ser levados em consideração em projetos de Sistemas Embarcados. Estes requisitos são: **Confiabilidade, Tolerância a Falhas, Consumo de Energia, Custo, Desempenho, Tempo, Consumo de Recursos, Tempo Limite (*Timeout*), Taxa de Vazão (*throughput*), Tempo de Atraso (*Delay*), Taxa de Repetição (*Repetition Rate*), Tempo de Resposta, Disponibilidade de Recursos (*resource Availability*), Taxa de utilização (*Utilization Rate*), Estrutura Física, Dimensões, Peso, Formato, Durabilidade, Facilidade de Transporte, Não-Inflamável, Temperatura, Impermeável e Compatibilidade Eletromagnética, Manutenibilidade, Portabilidade, Segurança do Tipo *Safety*, Prevenção de Perigos, Registro de Eventos, Segurança do Tipo *Security*, Identificação do Usuário, Acesso Seguro a Rede, Comunicação Segura, Armazenamento Seguro, Disponibilidade, Segurança de conteúdo, Resistência a violação, Privacidade, Usabilidade, Proteção Contra Erros do Usuário, Capacidade de Aprendizado, Intuitivo, Adaptabilidade e Satisfação do Usuário.**

- **Quais são os inter-relacionamentos entre os Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados?** Os Inter-relacionamentos entre os Requisitos Não-Funcionais para sistemas embarcados são apresentados através dos catálogos SIG

<sup>1</sup> é um conjunto de sistemas de software intensivos com características de arquitetura comuns que são compartilhadas entre outros produtos (ROSSO, 2005)

na Figura 19 que apresenta os Requisitos Não-Funcionais para sistemas embarcados e seus refinamentos, e nas Figuras 20, 21, 23, 25, 27, 35, 45, 47, 49, 52 e 61 que apresentam o SIG com as correlações entre os Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados. Além disso, é fornecida a Tabela 8 com uma descrição textual das correlações dos Requisitos Não Funcionais do Catálogo NFR4ES.

- **Como desenvolver um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais no domínio de Sistemas Embarcados para apoiar a elicitação e especificação de requisitos.** Para desenvolver o catálogo foi criado um processo com 3 fases e 8 tarefas. Este processo é apresentado na Figura 15. Todo o detalhamento sobre as atividades e tarefas do processo é apresentado na seção 3.1.

### 5.3 LIMITAÇÕES

No decorrer deste trabalho, surgiram alguns questionamentos, os artefatos gerados na dissertação podem ser aprimorados e re-avaliados posteriormente.

- No levantamento dos requisitos para construção da Taxonomia não foram utilizadas como fonte: padrões da indústria, normas técnicas e restrições informadas por profissionais da área de embarcados. Todo o estudo foi embasado nos achados da literatura.
- O catálogo desenvolvido é focado principalmente nos Requisitos Não-funcionais de Produto, portanto não incorpora aspectos relacionados aos Requisitos de Processo e Requisitos Externos.
- Embora a aplicação do questionário tenha sido realizada com 10 profissionais no objetivo de avaliar o catálogo sobre perspectivas relevantes da pesquisa, é necessário realizar mais avaliações sobre o uso do catálogo por outros profissionais da área de Sistemas Embarcados.

### 5.4 TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa e as limitações encontradas, são propostas algumas ações como trabalhos futuros:

- Incrementar o catálogo com novos RNFs de produto baseados em: padrões da indústria, normas técnicas e a opinião de mais projetistas de Sistemas Embarcados.
- Expandir o catálogo de RNFs, com a inclusão dos Requisitos Não-Funcionais de Processo e Externos.
- Aplicar o catálogo desenvolvido em outras aplicações de Sistemas Embarcados.

- Desenvolver uma ferramenta para apoiar a instanciação do catálogo e a construção dos cartões de especificação.
- Criar um site para armazenar, consultar e modificar os Requisitos Não-Funcionais do Catálogo NFR4ES.

## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou o Catálogo de Requisitos Não-funcionais para Sistemas Embarcados, visando apoiar a elicitação e especificação de requisitos neste domínio. Para isso, inicialmente o contexto do trabalho foi apresentado, assim como a caracterização do problema e a motivação do trabalho.

No capítulo 2 uma descrição das principais áreas que fornecem embasamento para esse trabalho foi apresentada. Assim, a fundamentação sobre Sistemas Embarcados, Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados, Requisitos Não-Funcionais e o **NFR Framework** foi apresentada, mostrando os seus principais conceitos e definições, além do estado da arte dessas áreas.

No capítulo 3, foi detalhado o processo de construção do catálogo NFR4ES. Ainda neste capítulo, apresentamos todas as definições dos requisitos do catálogo e um grafo SIG para apoiar Engenheiros de Requisitos e projetistas destes sistemas nas etapas de elicitação e especificação.

No capítulo 4, foi apresentada a avaliação do catálogo proposto. O método de avaliação e os procedimentos realizados, e a forma de coleta e análise dos dados foram descritos. No final, os resultados da avaliação foram apresentados.

No último capítulo, os trabalhos relacionados com a presente pesquisa foram apresentados. Além das principais contribuições do trabalho, as limitações e os trabalhos futuros.

Portanto, podemos concluir que o objetivo do trabalho foi alcançado, onde o catálogo NFR4ES foi desenvolvido e avaliado. Ele pode ser utilizado no processo de Engenharia de Requisitos, mais especificamente nas etapas de elicitação e especificação em projetos de Sistemas Embarcados.

## REFERÊNCIAS

- ALIEE, H. Reliability analysis and optimization of embedded systems using stochastic logic and importance measures. 2017.
- ASSIS, M. C. d. Metodologia do trabalho científico. *São Paulo: Atlas*, 2009.
- AVIZIENIS, A.; LAPRIE, J.-C.; RANDELL, B.; LANDWEHR, C. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE transactions on dependable and secure computing*, IEEE, v. 1, n. 1, p. 11–33, 2004.
- BARBIERO, A. A. Ambiente de suporte ao projeto de sistemas embarcados. 2006.
- BOYER, A. What is systems engineering for embedded systems? In: *INCOSE International Symposium*. Wiley Online Library: [s.n.], 2008. v. 18, n. 1, p. 2071–2087.
- BRAUN, P.; BROY, M.; HOUDEK, F.; KIRCHMAYR, M.; MÜLLER, M.; PENZENSTADLER, B.; POHL, K.; WEYER, T. Guiding requirements engineering for software-intensive embedded systems in the automotive industry. *Computer Science-Research and Development*, Springer, v. 29, n. 1, p. 21–43, 2014.
- BROY, M. *Requirements Engineering for Embedded Systems*. 1997.
- BROY, M.; SLODOSCH, O. From requirements to validated embedded systems. In: *International Workshop on Embedded Software*. Springer: [s.n.], 2001. p. 51–65.
- CARRO, L.; WAGNER, F. R. Sistemas computacionais embarcados. *Jornadas de atualização em informática. Campinas: UNICAMP*, 2003.
- CAVALCANTE, M. D. A. *Uma Análise sobre a Engenharia de Requisitos em Sistemas Embarcados*. 2017. (Mestrado Profissional) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação - Universidade Federal de Pernambuco.
- CHEN, X.; LIU, J.; MALLET, F.; JIN, Z. Modeling timing requirements in problem frames using ccsL. In: *Software Engineering Conference (APSEC), 2011 18th Asia Pacific*. IEEE: [s.n.], 2011. p. 381–388.
- CHUNG, L.; NIXON, B. A.; YU, E.; MYLOPOULOS, J. *Non-functional requirements in software engineering*. Springer Science & Business Media: [s.n.], 2000. v. 5.
- CYSNEIROS, L.; YU, E.; LEITE, J. Cataloguing non-functional requirements as softgoal networks. *Requirements Engineering for Adaptable Architectures@ RE*, v. 3, p. 13–20, 2003.
- EBERT, C. Putting requirement management into praxis: dealing with nonfunctional requirements. *Information and Software technology*, Elsevier, v. 40, n. 3, p. 175–185, 1998.
- EMILIO, M. D. P. *Embedded systems design for high-speed data acquisition and control*. Springer Publishing Company, Incorporated: [s.n.], 2015.
- FIRESMITH, D. G. Common concepts underlying safety, security, and survivability engineering. 2003.

- FIRESMITH, D. G. A taxonomy of safety-related requirements. In: *International Workshop on High Assurance Systems (RHAS'05)*. ResearchGate: [s.n.], 2005.
- FREITAS, E. P.; WEHRMEISTER, M. A.; PEREIRA, C. E.; WAGNER, F. R.; SILVA, E. T.; CARVALHO, F. C. Using aspect-oriented concepts in the requirements analysis of distributed real-time embedded systems. In: *Embedded System Design: Topics, Techniques and Trends*. Springer: [s.n.], 2007. p. 221–230.
- FRIEDRICH, L. *A Survey of operating systems infrastructure for embedded systems*. Universidade de Lisboa. Disponível em <http://hdl.handle.net/10451/23163>, 2009.
- GAY, G. *Infusion Pump Requirements*. 2012. Disponível em <http://www.greggay.com/courses/fall17csce740/Documents/InfusionRequirements.pdf>, 2012.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. Editora Atlas SA: [s.n.], 2008.
- GÓES, A. P. P.; VIEIRA, M. R. R.; JÚNIOR, R. D. R. L. Diabetes mellitus tipo 1 no contexto familiar e social. *Revista paulista de pediatria*, Sociedade de Pediatria de São Paulo, v. 25, n. 2, p. 124–128, 2007.
- HARVEY, C.; STANTON, N. A.; PICKERING, C. A.; MCDONALD, M.; ZHENG, P. Context of use as a factor in determining the usability of in-vehicle devices. *Theoretical issues in ergonomics science*, Taylor & Francis, v. 12, n. 4, p. 318–338, 2011.
- HUANG, C.-Y.; CHANG, Y.-R. An improved decomposition scheme for assessing the reliability of embedded systems by using dynamic fault trees. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 92, n. 10, p. 1403–1412, 2007.
- JIANG, Q.; ZHU, C.; CAO, D.; HUANG, C.; XIE, J. Research on safety analysis for airborne system based on extended functional model. *Advances in Mechanical Engineering*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 7, n. 5, p. 1687814015585486, 2015.
- JIMENEZ, M.; PALOMERA, R.; COUVERTIER, I. *Introduction to embedded systems*. Springer: [s.n.], 2013.
- JIMENEZ, M.; PALOMERA, R.; COUVERTIER, I. *Introduction to Embedded Systems: Using Microcontrollers and the MSP430*. 1. ed. Springer-Verlag New York: [s.n.], 2014. ISBN 978-1-4614-3142-8, 978-1-4614-3143-5.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. 2007. Disponível em <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.117.471rep=rep1type=pdf>.
- KOCHER, P.; LEE, R.; MCGRAW, G.; RAGHUNATHAN, A.; MODERATOR-RAVI, S. Security as a new dimension in embedded system design. In: *Proceedings of the 41st annual Design Automation Conference*. ACM: [s.n.], 2004. p. 753–760.
- KOTONYA, G.; SOMMERVILLE, I. *Requirements engineering: processes and techniques*. Wiley Publishing: [s.n.], 1998.
- LAUESEN, S. *Software requirements: styles and techniques*. Pearson Education: [s.n.], 2002.

- LEMOS, R. D.; SAEED, A.; ANDERSON, T. Analysis of timeliness requirements in safety-critical systems. In: *International Symposium on Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems*. Springer: [s.n.], 1992. p. 171–192.
- LI, R.; MA, S.; YAO, W. Ontology-based requirements generation for credibility validation of safety-critical system. In: *Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM), 2015 IEEE International Conference on*. IEEE: [s.n.], 2015. p. 849–854.
- LIGGESMEYER, P.; TRAPP, M. Trends in embedded software engineering. *IEEE software*, IEEE, v. 26, n. 3, 2009.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of psychology*, v. 22, p. 1–55, 1932.
- LUO, X.; GE, Z.; GUAN, F.; YANG, Y. A method for the maintainability assessment at design stage based on maintainability attributes. In: *Prognostics and Health Management (ICPHM), 2017 IEEE International Conference on*. IEEE: [s.n.], 2017. p. 187–192.
- MAIRIZA, D.; ZOWGHI, D.; NURMULIANI, N. An investigation into the notion of non-functional requirements. In: *Proceedings of the 2010 ACM Symposium on Applied Computing*. ACM: [s.n.], 2010. p. 311–317.
- MARCONDES, H.; JUNIOR, A. S. H.; WANNER, L. F.; FRÖHLICH, A. A. M. Portabilidade de sistemas operacionais no domínio de sistemas embarcados. *Relatório Técnico. Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Integração de Software e Hardware*, 2004.
- MARCONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. Atlas: [s.n.], 2003.
- MARTINS, L. E. G.; FARIA, H. de; VECCHETE, L.; CUNHA, T.; OLIVEIRA, T. de; CASARINI, D. E.; COLUCCI, J. A. Development of a low-cost insulin infusion pump: Lessons learned from an industry case. In: *Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2015 IEEE 28th International Symposium on*. IEEE: [s.n.], 2015. p. 338–343.
- MARTINS, L. E. G.; JÚNIOR, R. de S.; JR, H. P. de O.; PEIXOTO, C. S. A. Teras: Template para especificação de requisitos de ambiente em sistemas embarcados. In: *Workshop de Engenharia de Requisitos (WER)*. ResearchGate: [s.n.], 2010.
- MATINLASSI, M. Evaluating the portability and maintainability of software product family architecture: Terminal software case study. In: *Software Architecture, 2004. WICSA 2004. Proceedings. Fourth Working IEEE/IFIP Conference on*. IEEE: [s.n.], 2004. p. 295–298.
- MEDITRONIC. *MiniMed 640G - Guia do utilizador do Sistema*. 2015. Url[https://www.medtronic-community.de/wp-content/uploads/IFU\\_MiniMed\\_640G\\_portuguese.pdf](https://www.medtronic-community.de/wp-content/uploads/IFU_MiniMed_640G_portuguese.pdf).
- MURUGESAN, A.; RAYADURGAM, S.; HEIMDAHL, M. *System Requirements: Generic Patient Controlled Analgesic Infusion (GPCA) System*. 2013. Disponível em: <<http://crisys.cs.umn.edu/downloads/gpca/SystemRequirements.pdf>>.

OSSADA, J. C.; MARTINS, L. E. G. Um estudo de campo sobre o estado da prática da elicitação de requisitos em sistemas embarcados. 2010.

OSSADA, J. C.; MARTINS, L. E. G.; RANIERI, B. S.; BELGAMO, A. Gerse: Guia de elicitação de requisitos para sistemas embarcados. 2012.

PATEL, K.; BLAUT, B.; COOKE, T.; TRAN, L. *Generic Ethernet Gateway Project (GWAY)*. 2015. Disponível em [http://www.cse.msu.edu/cse435/Projects/F2013/Groups/GWAY/Docs/GWAY\\_SRSv1.pdf](http://www.cse.msu.edu/cse435/Projects/F2013/Groups/GWAY/Docs/GWAY_SRSv1.pdf).

PEREIRA, T.; ALBUQUERQUE, D.; SOUSA, A.; ALENCAR, F.; CASTRO, J. Retrospective and trends in requirements engineering for embedded systems: A systematic literature review. 2017.

PIERCE, R.; AYACHE, S.; WARD, R.; STEVENS, J.; CLIFTON, H.; GALLE, J. Capturing and verifying performance requirements for hard real time systems. In: *International Conference on Reliable Software Technologies*. Springer: [s.n.], 1997. p. 137–148.

PRESSMAN, R.; MAXIM, B. *Engenharia de Software-8ª Edição*. McGraw Hill Brasil: [s.n.], 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição*. Editora Feevale: [s.n.], 2013.

RAVI, S.; RAGHUNATHAN, A.; CHAKRADHAR, S. Tamper resistance mechanisms for secure embedded systems. In: *VLSI Design, 2004. Proceedings. 17th International Conference on*. IEEE: [s.n.], 2004. p. 605–611.

RAVI, S.; RAGHUNATHAN, A.; KOCHER, P.; HATTANGADY, S. Security in embedded systems: Design challenges. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS)*, ACM, v. 3, n. 3, p. 461–491, 2004.

REEDER, J.; ETTEMA, E.; BOYCE, R.; MASSIE, K.; BROWN, S. *Project Active Park Assist 2*. 2014. Disponível em <https://www.cse.msu.edu/cse435/Projects/F2014/Groups/APA2/web/docs/SRSv2.pdf>.

ROBERTSON, S.; ROBERTSON, J. *Mastering the requirements process: Getting requirements right*. Addison-wesley: [s.n.], 2012.

ROSSO, C. D. Dynamic memory management for software product family architectures in embedded real-time systems. In: IEEE. *5th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA'05)*. [S.l.], 2005. p. 211–212.

SERPANOS, D. N.; VOYIATZIS, A. G. Security challenges in embedded systems. *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.*, ACM, New York, NY, USA, v. 12, n. 1s, p. 66:1–66:10, mar. 2013. ISSN 1539-9087. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2435227.2435262>>.

SHAN, J.-H.; ZHAO, H.-Y.; WANG, J.-B.; WANG, R.-X.; RUAN, C.-L.; YAO, Z.-X. An extended tasm-based requirements modeling approach for real-time embedded software: An industrial case study. In: *Software Engineering and Methodology for Emerging Domains*. Springer: [s.n.], 2016. p. 19–34.

SHIBU, K. *Introduction to embedded systems*. Tata McGraw-Hill Education: [s.n.], 2009.

- SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. Unidade 2—a pesquisa científica. *Métodos de pesquisa. Porto Alegre: UFRGS*, p. 31–42, 2009.
- SOMMERVILLE, I. *Engenharia de software*. PEARSON BRASIL: [s.n.], 2011.
- SOPHATSATHIT, P. Lessons learned on design for modifiability and maintainability. 2000.
- SOUSA, A. *Diagnóstico sobre a Especificação de Sistemas Embarcados*. 2015. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação Acadêmica em Engenharia de Computação - Universidade de Pernambuco (UPE).
- SOUSA, A.; AGRA, C.; MELO, J.; ALENCAR, F. M. Elicitação e especificação de requisitos em sistemas embarcados: Uma revisão sistemática. In: *Workshop de Engenharia de requisitos (WER)*. Semantic scholar: [s.n.], 2015.
- TOMAYKO, J. E. *Computers in spaceflight: The Nasa Experience*. 1988.
- TONG, X. C. *Advanced materials and design for electromagnetic interference shielding*. CRC press: [s.n.], 2016.
- TONIOLO, C. M.; MARTINS, L. E. G. PRReSE – Process of Non-Functional Requirements Reuse for Embedded Systems Based on a NFR-Framework. In: *ICSEA 2014 : The Ninth International Conference on Software Engineering Advances*. IARIA: [s.n.], 2014. p. 293–299.
- UMAR, M. A.; GHAZALI, M. Investigation into usability attributes for embedded systems testing. *International Journal of Software Engineering and Technology*, v. 1, n. 2, 2014.
- USMAN, M.; BRITTO, R.; BÖRSTLER, J.; MENDES, E. Taxonomies in software engineering: A systematic mapping study and a revised taxonomy development method. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 85, p. 43–59, 2017.
- VAI, M. M.; KHAZAN, R. I.; UTIN, D. M.; O'MELIA, S. R.; WHELIHAN, D. J.; NAHILL, B. R. *Secure Embedded Systems*. MIT Lincoln Laboratory Lexington United States, 2016.
- V.DHIVYA, A. Estimation of energy consumption in embedded systems. In: *DIGITAL EXPLORE. Proceedings of 5th IRF IRF International Conference, Chennai, 23rd March. 2014*. [S.l.], 2014. p. 22–23.
- WAHAB, A.; AZAM, F.; ANWAR, H.; KHAN, A. S. Usability aspects in pervasive computing: Needs and challenges. 2011.
- WIEGERS, K.; BEATTY, J. *Software requirements*. Pearson Education: [s.n.], 2013.
- WOLF, M. *Computers as components: principles of embedded computing system design*. Elsevier: [s.n.], 2012.
- ZANELLA, L. C. H. *Metodologia da pesquisa*. SEAD/UFSC: [s.n.], 2006.
- ZHANG, D.; ADIPAT, B. Challenges, methodologies, and issues in the usability testing of mobile applications. *International journal of human-computer interaction*, Taylor & Francis, v. 18, n. 3, p. 293–308, 2005.

ZHANG, Y.; JETLEY, R.; JONES, P. L.; RAY, A. Generic safety requirements for developing safe insulin pump software. *Journal of diabetes science and technology*, SAGE Publications, v. 5, n. 6, p. 1403–1419, 2011.

## APÊNDICE A – ESTUDOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Neste anexo, são apresentados todos os artigos da Revisão Sistemática da Literatura utilizada em nosso trabalho.

Id	Autores	Títulos
S01	Aceituna, et al.	Interactive requirements validation for reactive systems through virtual requirements prototype
S02	Anderson, et al.	Analysis of timeliness requirements in safety-critical systems
S03	Aoyama, et al.	AORE (aspect-oriented requirements engineering) methodology for automotive software product lines
S04	Arpinen, et al.	Meta-model and UML profile for requirements management of software and embedded systems
S05	Ben-Abdallah, et al.	The integrated specification and analysis of functional, temporal, and resource requirements
S06	Ben-Abdallah, et al.	Specification and analysis of real-time systems with PARAGON
S07	Blouin, et al.	Defining an annex language to the architecture analysis and design language for requirements engineering activities support
S08	Boulanger, et al.	Requirements engineering in a model-based methodology for embedded automotive software
S09	Braun, et al.	Guiding requirements engineering for software-intensive embedded systems in the automotive industry: The REMsES approach
S10	Brink et al.	Automatic analysis of embedded systems specified in Astral
S11	Brink, et al.	Experiences with analysis of formal specifications in Astral
S12	Busse, et al.	Formal Specification and Automated Verification of Safety-Critical Requirements of a Railway Vehicle with Framac/Jessie
S13	Carvalho, et al.	Using Aspect-Oriented Concepts in the Requirements Analysis of Distributed Real-Time Embedded Systems
S14	Delemos, et al.	A Train set as a Case-Study for the Requirements Analysis of Safety-Critical Systems

Id	Autores	Títulos
S15	Denger, et al.	Higher quality requirements specifications through natural language patterns
S16	Djouab, et al.	An ASPIRE-based method for quality requirements identification from business goals
S17	Doering, et al.	A model driven engineering approach based on aspects for high speed scientific X-rays cameras
S18	Dubois et al.	A Model for Requirements Traceability in a Heterogeneous Model-Based Design Process: Application to Automotive Embedded Systems
S19	Dutertre, et al.	Formal requirements analysis of an avionics control system
S20	Faulk, et al.	The Core method for real-time requirements
S21	Fernandes, et al.	Expressing Environment Assumptions and Real-time Requirements for a Distributed Embedded System with Shared Variables
S22	Ferrante, et al.	BCL: A compositional contract language for embedded systems
S23	Fidge, et al.	Disciplined A pproach to Real-Time Systems-Design
S24	Galle, et al.	Capturing and verifying performance requirements for hard real time systems
S25	Galvao et al.	A case study using a protocol to derive safety functional requirements from Fault Tree Analysis
S26	Goldsack, et al.	Requirements Engineering for Real-Time Systems
S27	Hansen, et al.	From safety analysis to software requirements
S28	Heimdahl et al.	Specification based prototyping of control systems
S29	Heninger, et al.	Specifying Software Requirements for Complex Systems: New Techniques and Their Application
S30	Jiale et al.	A Context-based Information Retrieval Technique for Recovering Use-Case-to-Source-Code Trace Links in Embedded Software Systems
S31	Jiale et al.	The observer-based technique for requirements validation in embedded real-time systems

Id	Autores	Títulos
S32	Koerner, et al.	Transferring Research Into the Real World: How to Improve RE with AI in the Automotive Industry
S33	Krueger, et al.	Requirements modeling for embedded realtime systems
S34	Kwon, et al.	Specification and analysis of timing requirements for real-time systems in the CBD approach
S35	Lattemann, et al.	Methodological approach to the requirement specification of embedded systems
S36	Lee, et al.	Reusable SW requirements development process: Embedded SW industry experiences
S37	Liu, et al.	Extending EAST-ADL2 to support aspectual requirement specification and analysis for automotive software
S38	Loniewski, et al.	Model-driven requirements engineering for embedded systems development
S39	Lundqvist, et al.	A TASM-Based Requirements Validation Approach for Safety-Critical Embedded Systems
S40	Markose, et al.	A Systematic framework for structured object-oriented security requirements analysis in embedded systems
S41	Mutz, et al.	Seamless model based development process of automotive systems
S42	Nasr, et al.	Eliciting and specifying requirements with use cases for embedded systems
S43	Petrov, et al.	An Aspect-Oriented Approach for Designing Safety-Critical Systems
S44	Pohl, et al.	Detecting and Correcting Outdated Requirements in Function-Centered Engineering of Embedded Systems
S45	Ravn, et al.	Specifying and verifying requirements of real-time systems
S46	Ribeiro, et al.	Application of an Extended SysML Requirements Diagram to Model Real-Time Control Systems
S47	Rota et al.	Integrating UML, MARTE and sysml to improve requirements specification and traceability in the embedded domain
S48	Roudier, et al.	Towards the Model-Driven Engineering of Security Requirements for Embedded Systems

Id	Autores	Títulos
S49	Saeed, et al.	An approach for the risk analysis of safety specifications
S50	Saeed, et al.	On the Safety Analysis of Requirements Specifications For Safety-Critical Software
S51	Saeed, et al.	The role of formal methods in the requirements analysis of safety-critical systems: a train set example
S52	Saiedian, et al.	Scenario-based requirements analysis techniques for real-time software systems: a comparative evaluation
S53	Schneider, et al.	Validating requirements for fault tolerant systems using model checking
S54	Seridi-Bouchelaghem, et al.	A Novel Formal Specification Approach for Real Time Multi-Agent System Functional Requirements
S55	Siegl, et al.	Model based requirements analysis and testing of automotive systems with Timed Usage Models
S56	Slotosch, et al.	From Requirements to Validated Embedded Systems
S57	Smarandache, et al.	Applicability of SIGNAL in safety critical system development
S58	Tanurhan et al.	Integrated design process with MESA/MERLAN
S59	Tuunanen, et al.	A Method and Tool for Wide Audience Requirements Elicitation and Rapid Prototyping for Mobile Systems
S60	Vogelsang, et al.	Supporting concurrent development of requirements and architecture: A model-based approach
S61	Wikan et al.	Enforcing safety requirements for industrial automation systems at runtime position paper
S62	Wu, et al.	Requirements specifications checking of embedded real-time software
S63	Xiaohong et al.	Modeling Timing Requirements in Problem Frames Using CCSL
S64	Zafar, et al.	Integrating safety and security requirements into design of an embedded system
S65	Zave, et al.	An Operational Approach to Requirements Specification for Embedded Systems

Id	Autores	Títulos
S66	Zhou, et al.	Towards feature-oriented requirements validation for automotive systems
S67	Zhu, et al.	A Formal Model for Service-Based Behavior Specification Using Stream-Based I/O Tables
S68	Mole, et al.	Model-based systems engineering with requirements variability for embedded real-time systems
S69	Roopak, et al.	Requirements engineering of industrial automation systems: Adapting the CESAR requirements meta model for safety-critical smart grid software
S70	Rui, et al.	Ontology-based requirements generation for credibility validation of safetycritical system
S71	Nesredin, et al.	ReSA: An ontology-based requirement specification language tailored to automotive systems
S72	Takoshima, et al.	Assessing the quality of software requirements specifications for automotive software systems
S73	Musat, et al.	Semi-formal representation of requirements for automotive solutions using sysML
S74	SporerGeorg, et al.	A Lean Automotive E/E-System Design Approach with Integrated Requirements Management Capability
S75	Fengjie, et al.	A Kind of Safety Requirements Description Method of the Embedded Software Based on Ontology
S75	Gonçalves, et al.	Model-based requirements specification of real-time systems with UML
S76	Shan, et al.	An extended TASM-based requirements modeling approach for real-time embedded software: An industrial case study
S77	Ito, Masao	Cardion.Spec: An approach to improve the requirements specification written in the natural language through the formal method
S78	Westman et al.	Providing tool support for specifying safety-critical systems by enforcing syntactic contract conditions
S79	Blouin, et al.	Combining Requirements, Use Case Maps and AADL Models for Safety-Critical Systems Design

---

<b>Id</b>	<b>Autores</b>	<b>Títulos</b>
S80	Thai, et al.	Validating and verifying the requirements and design of a haemodialysis machine using the Rodin toolset
S81	Radu, et al.	Formal verification of trustworthiness requirements for Small Unmanned Aerial Systems
S82	Chen, et al.	Using safety requirement patterns to elicit requirements for railway interlocking systems
S83	Khan, et al.	Natural interpretation of UML/MARTE diagrams for system requirements specification
S84	Ljungkrantz, et al.	Specification and Semantic Analysis of Embedded Systems Requirements: From Description Logic to Temporal Logic

**APÊNDICE B – ESTUDOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
(TRATAM RNFS)**

Id	Autores	Títulos
S02	Anderson, et al.	Analysis of timeliness requirements in safety-critical systems
S03	Aoyama, et al.	AORE (aspect-oriented requirements engineering) methodology for automotive software product lines
S05	Ben-Abdallah, et al.	The integrated specification and analysis of functional, temporal, and resource requirements
S06	Ben-Abdallah, et al.	Specification and analysis of real-time systems with PARAGON
S07	Blouin, et al.	Defining an annex language to the architecture analysis and design language for requirements engineering activities support
S08	Boulangier, et al.	Requirements engineering in a model-based methodology for embedded automotive software
S12	Busse, et al.	Formal Specification and Automated Verification of Safety-Critical Requirements of a Railway Vehicle with Framac/Jessie
S13	Carvalho, et al.	Using Aspect-Oriented Concepts in the Requirements Analysis of Distributed Real-Time Embedded Systems
S14	Delemos, et al.	A Train Set as a Case-Study for the Requirements Analysis of Safety-Critical Systems
S16	Djouab, et al.	An ASPIRE-based method for quality requirements identification from business goals
S17	Doering, et al.	A model driven engineering approach based on aspects for high speed scientific X-rays cameras
S18	Dubois et al.	A Model for Requirements Traceability in a Heterogeneous Model-Based Design Process: Application to Automotive Embedded Systems
S19	Dutertre, et al.	Formal requirements analysis of an avionics control system
S24	Galle, et al.	Capturing and verifying performance requirements for hard real time systems

Id	Autores	Títulos
S25	Galvao et al.	A case study using a protocol to derive safety functional requirements from Fault Tree Analysis
S31	Jiale et al.	The observer-based technique for requirements validation in embedded real-time systems
S33	Krueger, et al.	Requirements modeling for embedded realtime systems
S34	Kwon, et al.	Specification and analysis of timing requirements for real-time systems in the CBD approach
S35	Lattemann, et al.	Methodological approach to the requirement specification of embedded systems
S38	Loniewski, et al.	Model-driven requirements engineering for embedded systems development
S39	Lundqvist, et al.	A TASM-Based Requirements Validation Approach for Safety-Critical Embedded Systems
S40	Markose, et al.	A Systematic framework for structured object-oriented security requirements analysis in embedded systems
S43	Petrov, et al.	An Aspect-Oriented Approach for Designing Safety-Critical Systems
S42	Nasr, et al.	Eliciting and specifying requirements with use cases for embedded systems
S46	Ribeiro, et al.	Application of an Extended SysML Requirements Diagram to Model Real-Time Control Systems
S47	Rota et al.	Integrating UML, MARTE and sysml to improve requirements specification and traceability in the embedded domain
S48	Roudier, et al.	Towards the Model-Driven Engineering of Security Requirements for Embedded Systems
S49	Saeed, et al.	An approach for the risk analysis of safety specifications
S50	Saeed, et al.	On The Safety Analysis of Requirements Specifications for Safety-Critical Software
S51	Saeed, et al.	The role of formal methods in the requirements analysis of safety-critical systems: a train set example
S52	Saiedian, et al.	Scenario-based requirements analysis techniques for real-time software systems: a comparative evaluation

<b>Id</b>	<b>Autores</b>	<b>Títulos</b>
S56	Slotosch, et al.	From Requirements to Validated Embedded Systems
S57	Smarandache, et al.	Applicability of SIGNAL in safety critical system development
S61	Wikan et al.	Enforcing safety requirements for industrial automation systems at runtime position paper
S63	Xiaohong et al.	Modeling Timing Requirements in Problem Frames Using CCSL
S64	Zafar, et al.	Integrating safety and security requirements into design of an embedded system
S65	Zave, et al.	An Operational Approach to Requirements Specification for Embedded Systems
S66	Zhou, et al.	Towards feature-oriented requirements validation for automotive systems
S68	Mole, et al.	Model-based systems engineering with requirements variability for embedded real-time systems
S70	Rui, et al.	Ontology-based requirements generation for credibility validation of safetycritical system
S74	SporerGeorg, et al.	A Lean Automotive E/E-System Design Approach with Integrated Requirements Management Capability
S75	Fengjie, et al.	A Kind of Safety Requirements Description Method of the Embedded Software Based on Ontology
S76	Shan, et al.	An extended TASM-based requirements modeling approach for real-time embedded software: An industrial case study
S81	Radu, et al.	Formal verification of trustworthiness requirements for Small Unmanned Aerial Systems
S82	Chen, et al.	Using safety requirement patterns to elicit requirements for railway interlocking systems

## APÊNDICE C – FONTES EXTERNAS

Id	Autores	Títulos
F1	Aliee, Hananeh	Reliability Analysis and Optimization of Embedded Systems using Stochastic Logic and Importance Measures
F2	Weber, Taisy Silva	Tolerância a falhas: conceitos e exemplos
F3	Avizienis, et al.	Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing
F4	WOLF, M.	Computers as components: principles of embedded computing system design
F5	Wiegers, et al.	Software requirements
F6	Ossada, et al.	Gerse: Guia de elicitação de requisitos para sistemas embarcados
F7	Murugesan, et al.	System Requirements:Generic Patient Controlled Analgesic Infusion (GPCA) System
F8	Zhang, et al.	Challenges, methodologies, and issues in the usability testing of mobile applications
F9	Harvey, et al.	Context of use as a factor in determining the usability of in-vehicle devices
F10	Wahab , et al	Usability aspects in pervasive computing
F11	Ravi , et al	Security in embedded systems: Design challenges
F12	Firesmith , D. G	A taxonomy of safety-related requirements
F13	Zhang, et al	Generic safety requirements for developing safe insulin pump software
F14	Kopetz, Hermann	Real-time systems: design principles for distributed embedded applications
F15	Bennett, et al	A maintainability measure of embedded software
F16	Ahmed, et al	Maintainable Embedded System Design to Accommodate Incremental Change
F17	Emilio, Maurizio	Embedded systems design for high-speed data acquisition and control

Id	Autores	Títulos
F18	Kiritsis, et al	Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems
F19	Fathabadi, et al	A model-based framework for software portability and verification in embedded power management systems
F20	Borriello, et al	Embedded system co-design
F21	Marcondes ,et al	Portabilidade de sistemas operacionais no dominio de sistemas embarcados
F22	Rakhmatov, et al	Energy management for battery-powered embedded systems
F23	Royuela, et al	A Functional Safety OpenMP for Critical Real-Time Embedded Systems
F24	Song, et al	Security and Privacy in Cyber-physical Systems: Foundations, Principles, and Applications
F25	Lee, et al	Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach
F26	Giraldo, et al	Security and privacy in cyber-physical systems: A survey of surveys
F27	Garitano, et al	Multi-metrics approach for security, privacy and dependability in embedded systems
F28	Umar, et al	Investigation into usability attributes for embedded systems testing
F29	Navet, et al	Automotive embedded systems handbook
F30	Sikora, et al	"Industry needs and research directions in requirements engineering for embedded systems"
F31	Thiele, et al	Performance analysis of distributed embedded systems
F32	Rushby, John	Bus architectures for safety-critical embedded systems
F33	Wolf, Wayne H	Hardware-software co-design of embedded systems}
F34	Tong, et al	Soft-core processors for embedded systems
F35	Balarin, et al	Scheduling for embedded real-time systems
F36	Malika, et al	A Fault Tolerant Scheduling Heuristics for Distributed Real Time Embedded Systems

---

<b>Id</b>	<b>Autores</b>	<b>Títulos</b>
F37	Alnawasreh, et al	Online robustness testing of distributed embedded systems: an industrial approach
F38	Hatley, et al	Strategies for real-time system specification
F39	Fan, et al	Real-Time Embedded Systems: Design Principles and Engineering Practices
F40	Li, et al	Real-time concepts for embedded systems
F41	Stankovic, John A	Strategic directions in real-time and embedded systems
F42	Moller, et al	Industrial requirements on component technologies for embedded systems

## APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO 1

### Questionário de Coleta de Dados para a Prova de Conceito

Este questionário visa obter o detalhamento necessário para a construção da documentação de um sistema embarcado. O objetivo desse instrumento é gerar um catálogo de Requisitos Não-funcionais para o sistema embarcado utilizado na Prova de Conceito, o Sistema MAIA. Seguem abaixo as 13 perguntas do questionário e o conceito resumido de alguns requisitos do catálogo NFR4ES. Isso foi realizado para facilitar a Identificação dos Requisitos Não-Funcionais do Sistema MAIA.

**Q1- Faça uma descrição do sistema.**

**Q2-Quais os objetivos do sistema.**

**Q3- Existem questões relacionadas a Confiabilidade que são tratadas pelo sistema? Quais? Enumere e descreva estes requisitos. *Confiabilidade: é a capacidade do sistema de fornecer serviços conforme especificado.***

**Q4- Dentro do contexto de Confiabilidade, existem aspectos relacionados a Tolerância a Falhas a serem tratados pelo sistema. Enumere e descreva estes aspectos. *Tolerância a falhas: visa o desenvolvimento de técnicas para evitar falhas de serviços e na presença de falhas fornecer o serviço solicitado, mesmo em um nível degradado.***

**Q5- Existem aspectos relacionados ao consumo de energia tratados pelo sistema? Quais são? liste de descreva estes aspectos. *Consumo de Energia: definição de estratégias para o gerenciamento e consumo de energia do sistema.***

**Q6- O custo unitário do sistema é definido como uma questão que deve ser levada em consideração no projeto do sistema? Se sim, descreva este questão.**

**Q7- O sistema possui Requisitos Não-Funcionais relacionados a Desempenho? mais precisamente no que diz respeito a restrições de Tempo e Consumo de recursos? Caso possua, descreva -os através dos atributos listados abaixo.**

a)Time - out (limite de tempo que é colocado em uma ação)

b)Vazão (*Throughput*)- (é a necessidade de realizar um certo numero de ações por unidade de tempo).

c)Tempo de Atraso(*Delay*) – (tempo de atraso máximo e aceitável para uma ação realizada pelo sistema).

d)Taxa de Repetição (*Repetition Rate*) – (define que uma ação deve ser realizada periodicamente).

e)Tempo de Resposta(*Response Time*) –( tempo entre uma ação de entrada de dados no sistema e sua saída).

f)Disponibilidade de Recursos (*Resource Availability*) – ( define como os recursos utilizados no sistema estarão disponíveis).

g)Taxa de Utilização (*Utilization Rate*) – ( define uma taxa ou carga de utilização a ser utilizada por um determinado recurso (memória, processador e etc..) do sistema).

**Q8- Descreva os Requisitos Não-Funcionais relacionados aos aspectos físicos que devem ser levados em consideração no projeto do sistema MAIA, documente estes Requisitos Não-Funcionais a partir dos atributos listados abaixo.**

a)Dimensões

b)Peso

c)Formato

d)Durabilidade

e)Facilidade de transporte

f)Não-Inflamável

g)Temperatura

h)Impermeável

j) Compatibilidade eletromagnética

**Q9- Existem aspectos relacionados a Manutenibilidade que devem ser tratados pelo sistema? Quais são? Descreva estes aspectos. *Manutenibilidade é a capacidade do sistema em ser reparado ou substituído*.**

**Q10- Existem aspectos relacionados a Portabilidade tratados pelo sistema? Quais são? descreva estes aspectos. *Portabilidade é a capacidade do sistema de ser executado sob diferentes sistemas de computação, hardware, software ou uma combinação de ambos*.**

**Q11- Existem RNFs de Segurança do Tipo Safety que foram levados em consideração no projeto do sistema? Caso existam, descreva estes requisitos safety de acordo com os atributos apresentados a seguir. *Segurança do Tipo Safety são requisitos é a eliminação e controle de perigos e a limitação de danos em caso de acidente*.**

a) Prevenção de perigos (perigos que devem ser levados em consideração e serem tratados no projeto do sistema)

b) Registro de Eventos (event logging)(coleta de informações de diagnóstico úteis e com precisão aceitável sobre o mal funcionamento do sistema)

**Q12- Existem Requisitos Não-Funcionais de Segurança do Tipo Security que foram levados em consideração no projeto do sistema? Caso existam, descreva os RNFs de Segurança do Tipo Security abordados no projeto do sistema . *Segurança do Tipo Security é caracterizada pela capacidade do sistema em se proteger contra invasões acidentais ou deliberadas*.**

Descreva estes requisitos de acordo com os atributos apresentados a seguir.

a) Identificação do Usuário (validação dos usuários antes de permitir que eles usem o sistema).

b) Acesso Seguro à Rede (conexão de rede ou acesso a um serviço somente se o dispositivo estiver autorizado).

c) Comunicação Segura (autenticação de pares de comunicação, garantindo a confidencialidade e a integridade dos dados comunicados)

d) Armazenamento Seguro (confidencialidade e integridade de informações armazenadas)

e) Disponibilidade (executar a função pretendida , sem ser interrompido.).

f) Segurança de Conteúdo (restrições de uso do conteúdo digital armazenado ou acessado pelo sistema )

g) Resistência a Violação (se refere ao projeto de uma arquitetura de sistema e implementação resistente a ataques).

h) Privacidade: são requisitos relacionados a proteção das informações pessoais e recursos do sistema contra pessoas não autorizadas.

**Q13 - Existem Requisitos Não-Funcionais de Usabilidade que foram levados em consideração no projeto do sistema? Caso existam, descreva estes requisitos. Usabilidade: especifica a interação do usuário final com o sistema e o esforço necessário para aprender, operar, preparar a entrada e interpretar a saída do sistema.**

a) Capacidade de Aprendizado

b) Proteção Contra Erros do Usuário

c) Adaptabilidade (capacidade de se adaptar as características do usuário)

d) Satisfação do Usuário

e) Intuitivo

## APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO 2

### Questionário para Avaliação com Especialistas

Esse questionário servirá de base para a avaliação de um catálogo proposto em um trabalho de mestrado. O objetivo deste trabalho é a definição de um Catálogo de Requisitos Não-Funcionais para Sistemas Embarcados que possa ser utilizado por Engenheiros de Requisitos, Projetistas e Desenvolvedores de sistemas embarcados.

#### Parte 1 – Identificação do perfil

##### 1. Qual sua ocupação atual?

Professor ( ) Engenheiro de Requisitos( ) Desenvolvedor de Sistemas Embarcados( )

##### 2. Qual sua a sua maior formação?

Graduação ( ) Especialização( ) Mestrado( ) Doutorado( )

3. Quantos anos de experiência você tem no desenvolvimento de sistemas embarcados? Resposta \_\_\_\_\_

#### Parte 2 – Experiência em Sistemas Embarcados

4. Os Requisitos Não-funcionais apresentados no catálogo NFR4ES são pertinentes a projetos de Sistemas Embarcados.

1) Discordo totalmente 2) Discordo parcialmente 3) Neutro 4) Concordo parcialmente  
5) Concordo totalmente

5. As correlações apresentadas no catálogo NFR4ES são condizentes com a realidade de projetos de Sistemas Embarcados.

1) Discordo totalmente 2) Discordo parcialmente 3) Neutro 4) Concordo parcialmente  
5) Concordo totalmente

6. Os requisitos do catálogo NFR4ES apresentam definições adequadas.

1) Discordo totalmente 2) Discordo parcialmente 3) Neutro 4) Concordo parcialmente  
5) Concordo totalmente

7. O catálogo NFR4ES é de fácil entendimento.

- 1) Discordo totalmente
- 2) Discordo parcialmente
- 3) Neutro
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**8. O catálogo NFR4ES é um artefato útil nas etapas de elicitação e especificação no processo de Engenharia de Requisitos para Sistemas Embarcados.**

- 1) Discordo totalmente
- 2) Discordo parcialmente
- 3) Neutro
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**9. Eu utilizaria o catálogo NFR4ES em projetos futuros.**

- 1) Discordo totalmente
- 2) Discordo parcialmente
- 3) Neutro
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**10. Eu recomendaria a outras pessoas a utilização do catálogo NF4ES.**

- 1) Discordo totalmente
- 2) Discordo parcialmente
- 3) Neutro
- 4) Concordo parcialmente
- 5) Concordo totalmente

**Parte 3 – Finalização (sugestões)**

**11. Há algum requisito no projeto de sistemas embarcados que não foi citado e você gostaria de destacar e acrescentar no catálogo?**

**12. Há alguma correlação que você gostaria de modificar ou acrescentar no catálogo?**

**13. Existem outras modificações que podem ser feitas para melhorar o catálogo? Quais?**

## APÊNDICE F – EVIDÊNCIA DAS RESPOSTAS

### Trecho do questionário utilizado para o coleta dos Requisitos Não-Funcionais do Sistema MAIA

A figura 97 apresenta um trecho do email enviado pelo engenheiro de hardware com as respostas do questionário aplicado para a elicitación dos Requisitos Não-funcionais do Sistema MAIA.

#### Figura 97 – Trecho do questionário respondido pelo engenheiro de hardware

**Q1- Faça uma descrição do sistema**

O Sistema Embarcado no Dispositivo MAIA (Modulo de Aquisição de Imagens para Analise), consiste em um sistema eletrônico e mecânico para aquisição de imagens de microscopia no ambiente de um laboratório básico, com a finalidade de submeter essas imagens para uma inteligência artificial capaz de diagnosticar exames parasitológicos, urianalise e hemogramas.

**Q2-Quais os objetivos do sistema**

O principal objetivo do MAIA é a aquisição automática de imagens de microscopia em laminas com amostras de fezes, urina ou sangue e a submissão das mesmas para um serviço na nuvem que faz a analise destas.

**Q3- Existem questões relacionadas a confiabilidade que são tratadas pelo sistema? Quais? Enumere e descreva estes requisitos. (Confiabilidade: é a capacidade do sistema de fornecer serviços conforme especificado)**

1. Controlar de movimentos em coordenadas cartesianas (x, y, z) com de precisão de no mínimo 0,028 mm.
2. Estar sempre disponível para o uso do usuário, mesmo que offline.
3. Armazenar e atualizar configurações do sistema quando necessário.
4. Ser capaz de rodar 24/7 independente de operadores humanos.

Fonte: Próprio Autor